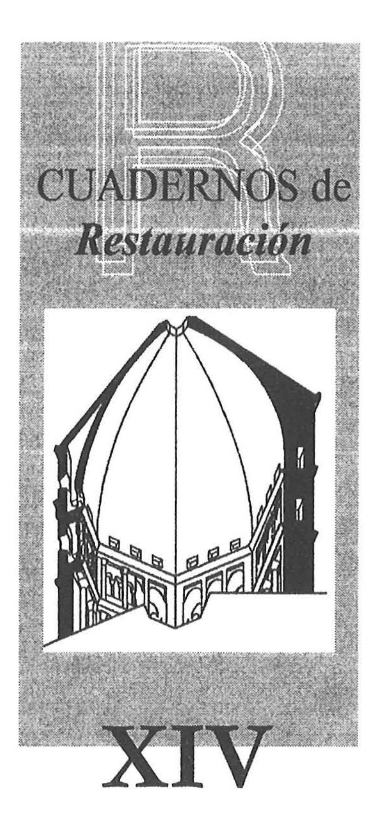
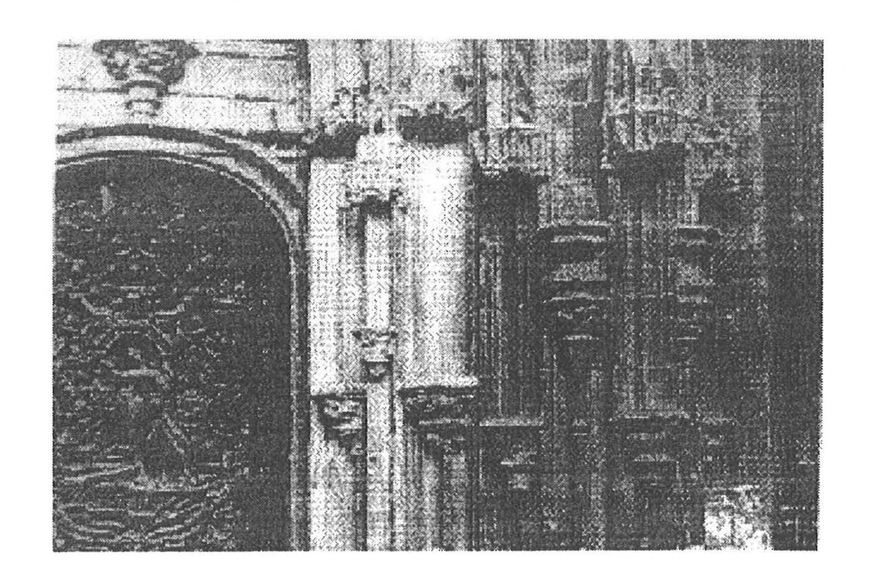


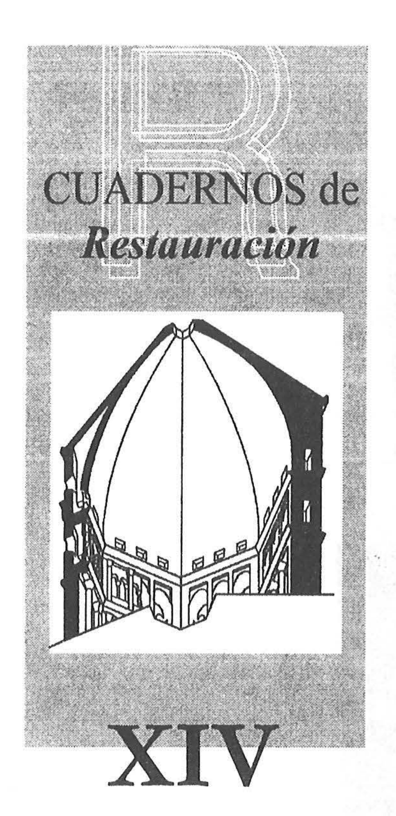
XIV

CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN
LA PIEDRA. MATERIAL BASE
REINTERPRETACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO
CONTAMINACIÓN Y PATRIMONIO: PUNTO DE VISTA DEL RESTAURADOR

JOSÉ MARÍA CABRERA



CUADERNOS DEL INSTITUTO JUAN DE HERRERA DE LA *ESCUELA DE ARQUITECTURA DE MADRID*

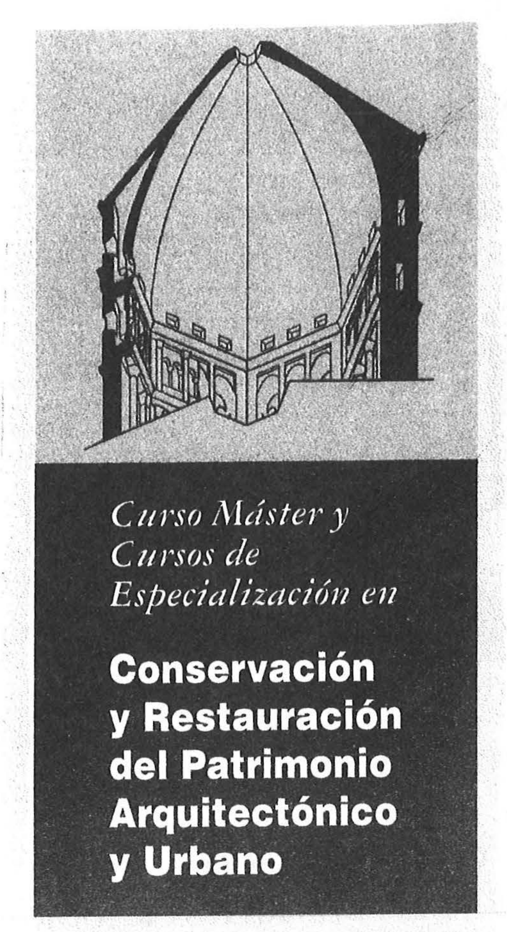


XIV

CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN
LA PIEDRA. MATERIAL BASE
REINTERPRETACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO
CONTAMINACIÓN Y PATRIMONIO: PUNTO DE VISTA DEL RESTAURADOR

JOSÉ MARÍA CABRERA

CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA
DE LA *ESCUELA DE*
ARQUITECTURA
DE MADRID



DIRECCIÓN: D. Ricardo Aroca Hernández-Ros
D. Pedro Navascués Palacio
D. José Miguel Ávila Jalvo

COORDINADORA: Dña. Angelique Trachana





ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Conservación y restauración.

Instituto Juan de Herrera.
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
Composición y maquetación: Daniel Álvarez Morcillo.
CUADERNO 81.01
ISBN: 84-95365-45-6
Depósito Legal: M-27693-2000

INDICE

CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN........ 2

1.-Antecedentes........ 2
2.-Panoramalnternacional........ 2
3.-El Instituto de Conservación y Restauración de Obras de Arte (ICROA)........ 3
4.-La restauración integrada y crítica........ 4
5.-La conservación como labor de equipo........ 5
6.-Conclusiones........ 5

LA PIEDRA: MATERIAL BASE........ 6

1.-Materiales petréos utilizados en la construcción........ 6
2.-Alteraciones y diagnóstico........ 6
2.1. Generalidades........ 6
2.1.1.Acción de la temperatura........ 8
2.1.2.Daños por el hielo........9
2.1.3.Contaminaciónatmosférica........ 11
2.1.4.Alteración por agentes biológicos........14
2.1.5.Alteración por sales solubles........16
3.-Estados de superficie. 18
4.-Tratamientos de la piedra........19
4.1.Limpieza........19
4.2.Consolidación y protección........20
5.-Conservación y restauración........21

REINTERPRETACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO........25

1.-Introducción........25
2.-Consolidación y protección........25
2.1.Compuestos de calcio,bario,estroncio,aluminio y zinc........25
2.2.Silicatos alcalinos,esteres silícicos y fluosilicatos........26
2.3.Plásticos........27
2.3.1.Siliconas 27
2.3.2.Resinas de poliéster........ 28
2.3.3.Resinas etoxilénicas........ 29
2.3.4.Resinas acrílicas 29
2.3.5.Impregnación con monómeros........ 30
3.-Ceras........ 30
4.-Adhesivos estructurales........ 30
5.-Limpiezas de la piedra........ 31
6.-Descripción práctica de los procedimientos recomendados........ 31
6.1.Limpieza de la superficie de la piedra 31
6.2.Programas de reparaciones........ 32
6.2.1. Para pegar piedra se utilizan principalmente resinas epoxídicas y de poliester........ 32
6.2.2. Masillas para precintar fisuras........ 32
6.2.3. Morteros de Restauración........ 33
6.3. Aplicación de productos de tratamiento en la piedra........ 33
6.3.1.Esteres silícicos del alcohol etílico........ 33
6.3.2.Resinas acrílicas del tipo polimetil- o polietil-metacrilato........ 33
7.-Conclusión........ 34

CONTAMINACIÓN Y PATRIMONIO :PUNTO DE VISTA DEL RESTAURADOR........ 35

1.Introducción........35
2.-Estados de superficie en algunos monumentos españoles........35
3.-Limpieza y protección de fachadas........37
4.-Conclusión........38

CONSERVACION Y RESTAURACION

1. Antecedentes

El articulo 19 de la Ley del treinta y tres, condensa muy bien las ideas de la época en materia de conservación y restauración, ofreciendo una norma clara y precisa: «Se proscribe todo intento de reconstitución de los Monumentos, procurándose por todos los medios de la técnica su conservación y consolidación, limitándose a restaurar lo que fuere absolutamente indispensable y dejando siempre reconocibles las adiciones». Estas prescripciones son aplicables a los «conjuntos urbanos o rústicos» en virtud del artículo 33 y, aunque para los bienes muebles nada se señala, cabe entender que los mismos conceptos le son aplicables[1].

Entre las publicaciones de la época, próximas a la redacción de esta Ley, señalamos una que nos parece muy aclaratoria de las discusiones del momento: el Discurso de ingreso en la Academia de la Historia de D. Modesto López Otero el 3 de enero de 1932 y la contestación de D. Elias Tormo[2], en los que se pueden apreciar «la superación de la vieja polémica entre conservadores y restauradores», «defensores estos de la integridad restaurada, con sus peligros de lo arbitrario y de lo falso», y manteniendo los primeros el principio de la «intangibilidad, que conduce al abandonismo y a la pérdida del Monumento», aceptando la «formula intermedia, aunque no equidistante, de conservar ante todo, y con la posible autenticidad; hacer perenne, eterna, la verdad histórica; pero admitiendo la necesaria intervención, reducida a lo preciso». D. Elías Tormo porfía en «el máximo respeto a lo que quedó de otras edades» y se declara «intransigente enemigo de todo parcial pasticcio» así como «condenador del afán de las restauraciones, que por necesidades sólo físicas de un edificio, vino la pecaminosa tentación de restaurarlo hasta en los detalles decorativos rotos, perdidos o incompletos». D. Modesto López Otero recoge la necesidad del diagnóstico como «base imprescindible del método de conservación», relatando con minuciosidad las enormes posibilidades de los recursos tecnológicos y científicos para garantizar la conservación del Monumento «sin dejarla ver, sin tocar a su contextura aunque fuera originariamente defectuosa y sin. menoscabar ni haber de completar lo decorativo» y acepta ese criterio intermedio al que antes hemos aludido al conciliar el triple interés de la importancia de los valores estéticos junto al documento histórico (que pone en palabras del arqueólogo Paul León) y a la necesidad de no falsificar (según dice el arquitecto Giovannoni).

Quizás también sea útil traer a la memoria lo que D. Manuel Gómez Moreno publicaba en 1925 respecto al «drama ejemplar de la historia de las restauraciones» en la Catedral de León[3], describiendo «el edificio enmascarado por enormes restauraciones, en parte sensatas y fieles, en parte antojadizas, ya por llevar el sello de otros tiempos, ya ideadas con un criterio fantástico de restitución y embellecimiento», junto a una cantidad importante de datos y juicios sobre el insaciable afán de sustituciones que caracteriza las obras realizadas desde 1869, inducidas al parecer por problemas de mala calidad de materiales, «error doctrinal,pegadizo desde Francia, al que no lograron sustraerse el talento y saber de D. Juan de Madrazo».

Pese al error que toda esquematización exagerada presupone, un resumen de los tres principales hechos acaecidos durante el siglo XIX y origen de los tres intereses que trata de conciliar D. Modesto López Otero, puede ser el siguiente:

a) La introducción del concepto de «unidad estilística» para la restauración que desarrolla Violet-le-Duc permitiéndole crear al modo de los antiguos a partir de los datos que le suministran las ruinas.

b) La necesidad del dato histórico para restaurar, que actúa como freno a las fantasías compositivas de los artistas restauradores.

c) El concepto de «falso histórico» definido por Camilo Boito y Gustavo Giovannoni[4], frenando las reconstrucciones historicistas, con la siguiente revaloriza ción del original, ya que obra sólo existe en lo que de ella subsiste.

Aunque no son más que tres hitos dentro del proceso histórico largo y denso, permiten aplicar a la restauración lo que Leibniz decía de toda ciencia: «la serie de hechos que nos propone no nos revelan el origen de esos hechos sino la historia de nuestros descubrimientos». No se trata ya evidentemente de enfrentar lo histórico a lo estético, la conservación a la restauración, sino de actuar unitariamente reuniendo y confrontando los elementos de apreciación de orden estético, histórico y científico para conservar y transmitir a las generaciones futuras, con todo el valor de su autenticidad, esos objetos incuestionables, únicos hechos innegables que guardan la verdad de nuestro pasado.

2. Panorama Internacional

Los conceptos que animan el espíritu de nuestra ley del treinta y tres eran los reconocidos internacionalmente en su época. Aunque el documento que más se conoce sea la «Carta de Atenas», fruto de la «Conferencia Internacional para la Conservación del Patrimonio Artístico y Arqueológico» celebrada en Atenas en 1931, y que constituyó el primer acto internacional para la tutela de los Monumentos[5], debemos recordar que en 1930 se había

[1].-El Artículo 4º del Decreto-Ley de 9 de agosto de 1926, vigente en virtud de lo previsto en la disposición adicional 3.» de la Ley del 13 de mayo de 1933, les confiere el carácter de bienes inmuebles por destino en los monumentos (cualquiera que sea la materia de que estén formados, formen parte de los mismos o de su exorno, o lo hayan formado, etc.).

[2].-Discursos leídos ante la Academia de la Historia el día 3 de enero de 1932 en la recepción pública de D. Modesto López Otero («La técnica moderna en la Conservación de Monumen- tos») y, contestación del Excmo. Sr. D. Elías Tormo. Artes Gráficas Faure, Madrid, 1932. Págs. 4-40.

[3].-Gómez Moreno, M.:«Catálogo Monumental de España: provincia de León», 1907-1908. Vol. 1, Madrid, 1925. Págs.222-224.

[4].-Ceschi, C.: «Teoría e storia del Restauro». Edz. Mario Bulzonl, Roma, 1970. Págs. 107-114.

[5].-Op. cit. Págs. 211-213. Reproduce la «Carta de Atenas» de 1931. Por otra parte, en la publicación del Consejo General de Castilla y León «Patrimonio Arquitectónico de Castilla y León». Soria, 1980. Págs. 57.64, bajo el epígrafe «La Carta de Atenas (según los principios del urbanismo establecidos en la Asamblea de los Congresos Internacionales de Arquitectura Moderna,

celebrado en Roma la «Conferencia Internacional para el Examen y la Preservación de las Obras de Arte», convocada por el Oficio Internacional de Museos (OIM) de la Sociedad de Naciones, primer paso indiscutible y fundamental en el intercambio de puntos de vista en materia de conservación y restauración, que condujo a la publicación del primer tratado sobre la conservación de pinturas con criterios modernos[6] considerándosele como el punto de partida de los esfuerzos a gran escala en el dominio de la restauración del patrimonio artístico. Como siempre, los conservadores y restauradores iban más rápido en los bienes muebles que en los monumentos, definiendo con mayor profundidad y alcance los criterios y soluciones, pero es incuestionable que la simplicidad y buena redacción de las dos páginas de la «Carta de Atenas» supusieron más para la cristalización de las ideas, que las casi trescientas páginas de la Conferencia de Roma.

Nota importante en las Conferencias de Roma y de Atenas es la llamada al desarrollo e investigación de métodos nuevos, solicitando la participación de las Ciencias Naturales, la Física y la Química. Es evidente la importancia que habían tenido los trabajos científicos publicados, como el manual de F. Rathgen del Laboratorio del Museo de Berlín (1905) titulado «Die Konservierung von Altertumsfunden», la existencia desde 1919 del Laboratorio del British Museum y la aparición desde 1927 de la publicación periódica «Mouseion» de la O.J.M. y no podemos olvidar los convincentes resultados obtenidos por los científicos al examinar los materiales de las excavaciones de Pompeya, así como de Egipto con motivo de las campañas de Napoleón y también cabe recodar que las enseñanzas sobre el estudio y preservación de los objetos de arte y de arqueología se iniciaron con Pasteur entre 1863 y 1867 al ocupar la nueva cátedra de geología, física y química en la Escuela de Bellas Artes de París, curso que él nos dice[7] «tiene como finalidad la aplicación de una ciencia exacta como punto de apoyo».

En 1931 se creó el Laboratorio científico del Museo del Louvre, desde 1932 se editan los «Technical Studies in the Field of Fine Arts» por el Fogg Art Museum de la Universidad de Harvard, en 1934 aparece el Max-Doerner Institut en Munich y el antecesor del Institut Royal du Patrimoine Artistique en Bruselas y en 1939 el Instituto Centrale del Restauro en Roma; sólo en 1942 aparece el «Centre de Recherches sur les Monuments Historiques de la France». En 1950 se organiza el «International Institute for Conservation of Historic and Artistic works» en Londres, así como el Comité Internacional del ICOM para los laboratorios de Museos en el seno de la UNESCO y el Comité para el tratamiento de pinturas, aunados ambos actualmente en el Comité Internacional para la Conservación[8]. El ICOMOS, Consejo Internacional de Monumentos y Sitios, se organizará quince años más tarde como consecuencia del Congreso de Arquitectos y Técnicos de los Monumentos Históricos reunido en Venecia en junio de 1964 que dio luz a la Carta de Venecia y al proyecto de publicar la primera revista internacional consagrada a los problemas de conservación y restauración de los monumentos; esta publicación denominada «Monumentum», recoge desde su primer número estudios científicos y técnicos sobre conservación de materiales y elementos artísticos de los Monumentos españoles[9], como fruto interesante de la actividad del ICROA de Madrid.

3. El Instituto de Conservación y Restauración de Obras de Arte (ICROA)

Se crea por Decreto de 16 de noviembre de 1961[10] con la misión de atender «con las garantías científicas y técnicas necesarias a la tarea de restauración y conservación de las obras y objetos de arte, arqueología y etnología» así como a « los elementos artísticos de los Monumentos Históricos Nacionales», atendiendo también a «la formación de los técnicos a los que hayan de encomendarse en el futuro las tareas de conservación y restauración», complementando así, según la introducción, toda una serie de disposiciones esencialmente anteriores a 1924[11].

celebrada en Atenas en 1933)» se reproducen sólo los 95 comentarios que hiciera Le Corbusier en 1957 a esta otra carta que sólo en su capitulo VII hace referencia a los monumentos histórico-artísticos y su entorno. Aunque como bien dicen apareció este documento publicado en París en 1941, bajo el título «La Carta de Atenas», es una carta relativa a la arquitectura moderna, diferente, más amplia, distinta de la que nació exclusivamente en 1931 con el convencimiento «de que la Conservación del Patrimonio Artístico y Arqueológico de la humanidad interesa a todos los Estados tutores de la civilización»; este error también se aprecia en otras muchas publicaciones.

[6].-«Documents sur la conservation des peintures» en Les Dossiers de l'Office Internationale des Musées, n.º 2, París, 1933, y también en «La Conservation des peintures», Museion, vol. XLI-XLII, París, 1938. Págs. 1-272.
Un amplio resumen de los puntos de vista fundamentales intercambiados en esta conferencia de Roma en 1930, fueron publicados por: Plenderleith, H. J.: «The Examination and preservation of painting: A Digest>, en The Museum Journal. 1. XXXII, 1932-33. Págs. 308-396.

[7].-En «Notes pour les leçons de physique et de chimie appliquées aux beaux arts». Oeuvres de Pasteur, reunies par Pasteur Valleri-Radot. Tomo VII. París, 1939. Págs. 223-262

[8].-El Museum, vol. XXXIV, n.º 1. París,1982, se dedica monográficamente a «La Conservación: Un desafío a la profesión", y es un documento irreemplazable para conocer la situación actual en el mundo. Aunque existe una edición en español no se ha conseguido aún una distribución amplia entre los restauradores interesados, pese a los múltiples requerimientos efectuados a la Secretaría del Comité Nacional Español.

[9].-Cabrera, J. M.: «Le portail du Monastére de Santa María de Ripoll. Etude scientifique pour sa conservation», en Monumentum, vol. 1. París, 1966. Págs. 83-102.

[10].-Se creo por Decreto 2415/1961 de 16 de noviembre. Se reorganizó diez años más tarde, por Decreto 2093/1971 con el principal propósito de repartir en tres direcciones (Administrativa, Técnica y de la Escuela) la función unitaria del Director fundador, consiguiéndose la dimisión del mismo y la paralización del Instituto durante casi una década

[11].-En el preámbulo del Decreto 2415/1961 se hace referencia a: Real Decreto de 29-11-1901 sobre Restauradores de Museos Arqueológicos; las disposiciones del Real Decreto de 14-5-1920 sobre organización de los Talleres de Restauración de Pintura y Escultura en el Museo Nacional del Prado; Real Orden de 30-8-1920, que organizó el Servicio de Conservación de Obras de Arte; la Real Orden de 14-4-1924, que constituyó la Junta de Conservación y Restauración de Pinturas y Obras de Arte antiguo y, la Orden Ministerial de 17-5-1941, que aprobó el Reglamento de Régimen Interior del Taller de Vaciados del Museo de Reproducciones Artísticas.

[12].-Coremans, P.: «Missión UNE~ en Espagne: El Instituto Cen tral de Conservación y Restauración» Texto fotocopiado. Bruselas 1963.

[13].-En noviembre de 1982 hemos celebrado el XX aniversario de la fundación del Instituto realizando una exposicion con los trabajos de restauración más importantes realizados ese año, publicando el n.º 14 de los Informes y Trabajos del Instituto, dedicado al Profesor Nieto, y disponiendo el tercer catálogo de Obras Restauradas.

Con el asesoramiento de la UNESCO[12] se desarrollan sus actividades paralelamente a las de los otros centros similares que existían en Europa y aquellos otros que con igual asesoramiento de la UNESCO se estaban creando en México, Nueva Delhi, Jos, Otawa, etc..., muy en el marco del «International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property» (ICCIOM) creado en Roma por la UNESCO en 1957. La fundación y primera década de funcionamiento corresponden a D. Gratiniano Nieto[13] por lo que, para conocer bien su obra, es conveniente remitirse al Discurso leído el 3-12-1971 ante la Academia Alfonso X el Sabio en Murcia[14], documento señaladísimo, como indica en su discurso de contestación D. Luciano de la Calzada, para la historia de la restauración y conservación en España; trata con seguridad los problemas concretos relacionados con el tratamiento de obras artísticas, pictóricas, escultóricas y afronta el difícil tema de la adecuada conservación de los objetos arqueológicos, haciendo una recopilación exhaus- tiva de los criterios de restauración a través de la historia y sumando lo que puede ser el primer tratado español sobre la moderna implicación de las ciencias experimentales en el mundo del arte, ya que su experiencia al frente del ICROA le permite escribir con conocimiento de causa.

Entendemos que el Instituto constituye la continuación natural, al estilo de los demás países desarrollados o en vías de desarrollo, de las intenciones señaladas en las Conferencias de Roma y de Atenas, y es por tanto consecuencia lógica del espíritu de la ley del treinta y tres cuando alude a la utilización de «todos los medios de la técnica», pues es bien fácil reconocer que sólo un centro especializado de este tipo puede estar al tanto de los sofisticados avances tecnológicos recogidos en las casi cien mil referencias bibliográficas del Art and Archaeology Technical Abstract y transferir estos recursos adaptándolos a nuestras condiciones particulares, cuidando al mismo tiempo del reciclaje de los técnicos que trabajan más o menos aislados en toda la geografía nacional; es evidente que la conservación y restauración ha evolucionado desde el arte y los oficios hacia la ciencia, y que actualmente se parece más a la medicina que a la fontanería, sin sentir sonrojo cuando se la califica de ortopedia remendona, sino más bien orgullo de labor científicamente bien realizada.

4. La restauración integrada y crítica

La razón de ser del ICROA y de sus equivalentes en otros países, puede justificarse por la necesidad de realizar actuaciones integradas y críticas, únicas vías con futuro en las que se creía hace medio siglo y en las que se sigue creyendo. El principio de la conservación integrada, tras haber forzado una etapa de reflexión para sostenerse en una toma de conciencia profunda, nos conduce hacia la búsqueda de una nueva ética para la utilización más prudente y más sensata de todos los bienes patrimoniales de la humanidad, de tal forma que la Conservación del Patrimonio Cultural se inscribe así en una corriente general de pensamiento en la que, infatigablemente, la crítica fenomenológica y el desarrollo científico permiten descubrir y utilizar facetas nuevas. Está claro que ya no nos interesa únicamente la conservación de las más importantes obras de arte, y nos damos cuenta de que, incluso éstas, pierden gran parte de su sentido sin la protección de su entorno inmediato; por otra parte, se amplían nuestros horizontes cuando valoramos las estructuras y el carácter interno de los objetos antiguos e incluso del siglo XIX en el estudio histórico de la tecnología, y este cambio de escala ha ofrecido una perspectiva amplia y clara del complejo problema de la Conservación del Patrimonio Cultural.

Cuando se aceptó, en 1930, que el tratamiento de los Bienes Culturales comportaba al menos tres aspectos fundamentales interdependientes, se inició un camino en el que cada vez ha sido menos frecuente la consideración del problema bajo alguno de estos parámetros con exclusión de los otros. Al aceptar este principio, se modificó y se desplazó el interés primordial de la Restauración hacia el de la Protección Conservación, pero esta prioridad establecida no excluye que la Conservación se realice en función del aspecto final del objeto y de su adecuada y digna presentación; de esta forma, la fijación de una pintura que se levanta en escamas, va más allá de la protección misma, ya que contribuye a restablecer los planos, la perspectiva y en definitiva toda la unidad pictórica del cuadro y, en contrapartida, la impregnación de una escultura en piedra o en madera, que debe consolidar el material pero sin afectar por ello al aspecto ni al valor plástico de la obra.

La Restauración ha sido definida por Cesare Brandi[15] como «el momento metodológico de reconocimiento de la obra de arte en su consistencia física y en su doble polaridad histórica y estética, con vistas a su transmisión al futuro», y la misión del conservador de Bienes culturales, según la define la Carta de la Restauración (Comisión Papaldo, Roma), consiste en «salvaguardar los valores históricos auténticos de los testimonios del pasado», definiciones que expresan la esencia de esta función. Para conservar la auténtica dimensión cultural de una obra, monumento o conjunto, se ha de mantener dentro de un equilibrio de factores cuya resultante no es la renovación ni el cambio, sino la permanencia y la estabilidad. No se trata de volver atrás en la búsqueda de un estado original, ciertamente irrecuperable, sino más bien la de buscar mediante una investigación crítica extraordinariamente sensible, el equilibrio actualmente realizable que más fielmente respete los principios que inspiraban esta unidad original perturbada[16]. Nuestra intervención se traduce así en un acto de interpretación crítica destinado a restablecer una continuidad formal interrumpida, en la medida en que esta aun exista actual o potencialmente, intervención que se ha de realizar, insistimos, como hipótesis crítica, siempre modificable, que pueda ser reemplazada por otra actuación más certera si el momento llegara a presentarse.

Barajando por última vez las palabras de siempre, entenderíamos los tratamientos como de restauración de las condiciones de conservación perdidas, situándolos

[12].-Coremans, P.: «Missión UNE en Espagne: El Instituto Central de Conservación y Restauración».Texto fotocopiado,Bruxelas,1963.

[13]En noviembre de 1982 hemos celebrado el XX aniversario de la fundación del Instituto realizando una exposicion con los trabajos de restauración más importantes realizados ese año, publicando el n.º 14 de los Informes y Trabajos del Instituto, dedicado al Profesor Nieto, y disponiendo el tercer catálogo de Obras Restauradas.

[14].-Nieto, G.: «Consideraciones en torno a la Conservación de Bienes Culturales: Aplicaciones prácticas en la provincia de Murcia». Academia Alfonso X El Sabio. Murcia, 1971. págs. 7-89.

[15].-Brandi, C.:«Teoría del Restauro». Edz. di Storia e Letteratura. Roma, 1963.

[16].-Philippot, A. et P.: En Bulletin de l'Institut Royal du Patrimoine Artis tique, vol. II, 1959, pág.5 y vol. IX, 1966, pág 140.Bruselas

respetuosamente entre el bipolo que definen las exigencias históricas y estéticas. Restaurar no es, evidentemente ni solo sanar la materia, ni dejar las cosas como nuevas, ni presentar un original fragmentado e incompleto sin el menor intento de búsqueda de su unidad perdida. En cada caso existe una amplia gama de posibilidades de intervención y la toma de conciencia de los muchos grados de libertad en la elección de lo que debe hacerse, da la dimensión justa de la labor del restaurador. Por esto mas allá de cualquier teoría, la actitud hoy rigurosa en materia de conservación y restauración es tratar en primer lugar de asegurar la protección y, a continuación, presentar la obra dentro del respeto al valor documental y artístico que le sea propio. «Conservación y Restauración no son, pues, entidades opuestas sino complementarias, y requieren una misma actitud por parte de los especialistas»[17].

5. La conservación como labor de equipo

Los programas de conservación elaborados sobre estas bases se caracterizan porque su realización exige una íntima colaboración de especialidades, pues «han de concretarse en actos que no pueden escindirse en pura decisión intelectual y pura ejecución material»[18], con lo que el principio fundamental de trabajo en equipo adquiere una importancia primordial como punto de partida para la Conservación y Restauración del Patrimonio.

La voluntad de un control, cuando menos tridisciplinario, en el ámbito del ICROA, viene siendo nuestro objetivo y, según este, el Historiador, el Restaurador y el Químico, por lo menos, deben abordar juntos el estudio de los problemas a partir de las observaciones que proceden de sus competencias respectivas, confrontando todos los resultados para obtener la máxima garantía de objetividad.

6. Conclusiones

El concepto de conservación y restauración, que encuentra su origen en un estado de espíritu especifico de la cultura contemporánea con respecto al Patrimonio, comporta una acción nacida de nuestro entendimiento crítico que compara y juzga, por lo que vale hoy en cuanto al conjunto deductivo de pruebas y análisis en que se basa y no por nuestras preferencias personales.

La brutal degradación de nuestro Patrimonio, así como el envilecimiento de nuestro entorno, no pueden justificarse sólo por una falta de especialistas cualificados de la conservación, sino por causas mucho más profundas que cada uno percibe claramente en su entorno, como por ejemplo, el espíritu de lucro y la especulación, el individualismo exacerbado, la pérdida de la conciencia histórica, la tacañería de la administración, etc..., que quizás sólo puedan resolverse mediante una gestión de revalorización de los bienes patrimoniales a partir de un estudio de normativa política del más alto nivel.

La conservación es sin duda una cuestión limítrofe entre múltiples disciplinas y actividades, a la que se acercan unos y otros desde distintos puntos de vista, pero sólo se entra en ella cuando al confrontar las distintas apreciaciones intuimos las razones profundas de las acciones que comporta. Aunque en España existen muy importantes Departamentos Técnicos, Servicios, Institutos, Cátedras, etc., actúan como células más o menos aisladas entre las que se deben establecer los nexos multidimensionales capaces de reunirlos en torno a la Conservación, y *esta creo que es la más profunda razón de ser de un Instituto de Restauración con R mayúscula, como centro capaz de promover el diálogo entre las especialidades para buscar conjuntamente el objetivo común de la Conservación del Patrimonio.*

---

[17].-Coremans, P.: «La Conservation des monuments historiques et ses perspectives d'avenir». Bulletin de l'Institut Royal du Patrimoine Artistique. vol. III. Bruselas, 1960. Pág 112.

[18].-Philippot,P. «Restauración: Filosofía, Criterios, Pautas».1er Serlacort. Documentos de Trabajo. Seminario Regional Latino-Americano de Conservación y Restauración. México,1973. Pág 112.

LA PIEDRA: MATERIAL BASE

1. MATERIALES PÉTREOS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN

El conocimiento de los materiales pétreos utilizados en los monumentos es una información fundamental que debe estar presente, junto con todos los demás datos relativos al edificio, a la hora de estudiar los diagnósticos y los tratamientos (fig. 5.1). Aunque son cada vez mejores y más frecuentes los estudios que realizan diferentes profesores universitarios en España, suministrándonos datos de inapreciable valor, creemos que, de entre todos los modelos propuestos, deberíamos seguir preferentemente alguno como los de Camerman[1], Mamillan[2] o del comité Piedra y Mármol del CSTC de Bélgica[3], pues en una ficha simple y clara se concentran los datos esenciales que necesitamos.

Como primer tema para nuestro trabajo, sugeriría la conveniencia de adoptar un modelo de ficha y examinar por qué camino sería más conveniente plantear su realización, a fin de que pudiéramos disponer de esta información sobre nuestras canteras en el plazo más corto posible. Un modelo de ficha a realizar podría contener: 1)*Nombre.* 2)*Lugar de origen.* 3) *Variedades.* *4)Color.* 5)*Otras denominaciones.* *6)Localización de canteras en la hola l:.50.000.* *7)Dimensiones de las piezas disponibles* 8)*Volumen de extracción anual en* m^3. 9)*Posición geológica.* 10)*Caracteres litológicos.* 11) *Defectos más frecuentes.* 12)*Caracterís ticas Técnicas:* 12.1)Resistencia (kg/cm^2). 12.2)Masa volúmica aparente (kg/m^3) 12.3)Velocidad de propagación del sonido (m/s). 12.4)Anchura de rayado (mm.) 12.5) Porosidad (P_o %). 12.6)Conductividad térmica λ_p (kcal/m h °C). 12.7) Coeficiente de saturación. 12.8) Diámetro de poros a 10% de $P_o(\mu)$ 12.9)Resistencia al hielo. 12.10)Clasificación de dureza (en escala AFNOR). 13.)*Aptitud para su utilización en exteriores.* 13.1)Plintos, zócalos, basamentos. 13.2)Escaleras, repisas de ventana, enlosados. 13.3)Sillería y revestimientos de fachadas. 13.4)Salientes sin protección, como cornisas, balcones, albardillas y molduras. 13.5)Molduras finas, balaustres y esculturas. 14)*Referencias de empleo en monumentos y edificios.*

2. ALTERACIONES Y DIAGNÓSTICO

2.1. Generalidades

Iñiguez[4], al estudiar las alteraciones en calizas y areniscas de unos veinte monumentos españoles, llega a las siguientes conclusiones generales:

1.) En los procesos de erosión tiene una importancia fundamental la presencia de sales solubles. El ataque químico de los componentes de la roca y la disolución del cemento de unión tienen una importancia menor y sólo intervienen en casos concretos. 2.) Los iones sulfato, cloruro, calcio y sodio tienen una importancia grande en los procesos de erosión, tanto por su abundancia como por la intensidad de su acción. La de nitratos y potasio es escasa, y prácticamente nula la de silicatos, carbonatos y magnesio. 3.) El tipo de erosión está condicionado por la riqueza en los distintos aniones y cationes. Cada uno de ellos, bien independientemente, bien formando sales determi nadas, tiene una acción propia. Los sulfatos sódico y cálcico son características de las zonas de costras, los nitratos y cloruros son más frecuentes en las áreas de conversión en arena. 4.) Cada ión se concentra en una zona determinada del perfil, condicionada por los demás iones con los que forma sales. En las zonas más erosionadas se acumulan preferentemente los iones sulfato, cloruro, calcio y sodio. Nitrato, magnesio y potasio experimentan en esas zonas un aumento pequeño. Carbonatos y silicatos no sufren apenas variación. Hierro, aluminio y fosfato no aparecen como sales solubles, si bien el primero emigra en forma coloidal.
5.) En un mismo sillar, en la superficie externa. aún en el caso de rocas bien conservadas, con escasas cantidades de sales solubles, se acumulan los iones sulfato, calcio, cloruro y sodio; con menor intensidad lo hacen potasio, nitrato y silicato. Los carbonatos solubles se reparten homogéneamente por toda la roca, mientras que el magnesio es más abundante en el interior.

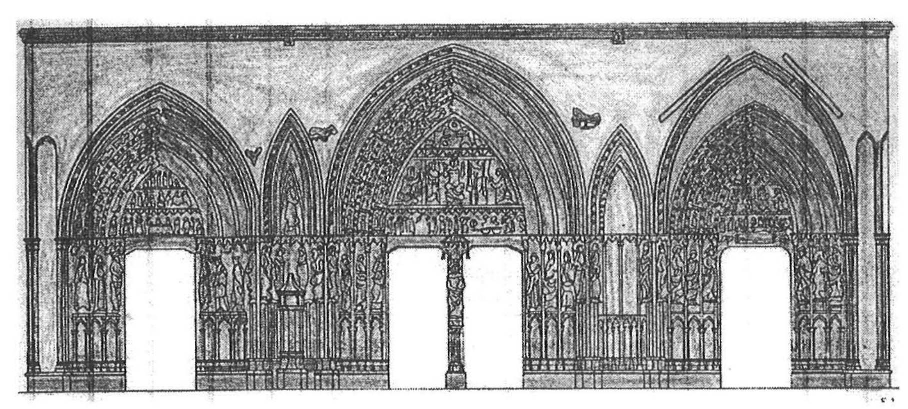


Figura 5.1. Esquema del pórtico occidental de la Catedral de León,mostrando la distribución de los distintos materiales pétreos utilizados. Inicialmente, la construcción se hizo con la caliza tosca del país para la obra de elevación y l.a martelilla de Boñar para las esculturas, siendo el zócalo de una caliza más dura, quizás de Villalbal o Valdepiélago y Robles. La cornisa superior de caliza de Hontoria se puso el siglo basado, sustituyendo a la balaustrada existcntc. En la actualidad, para estimar las aptitudes de utilización en exteriores de las distintas piedras, determinamos unas series de paráme tros fisicoquímicos entre los que destaca la clasificación de dureza en escala Afnor: marrón: dolomia de Boñar ; azul: caliza tosca del país; rojo: caliza dc Hontoria; amarillo: dura de Villalbal; verde: arenisca de Novelda; negro: piedra toba (bóvedas).

[1].-Camerman,C.:«Les carrières francaises de pierre de taille: Fiches Techniques»,en Societé de diffusion des techniques du batiment et des travaux publics.París,1957.
[2].-Mamillan, M.: «Méthode de classification des pierres calcaires». Annales de I.T.B.T.P. nº125.París,1958. Pp.459-526
[3].-Centre Scientifique et Technique de la Construction. «Pierres blanches naturelles»,note d´information technique nº80.Bruse las,1970

[4].-Iñiguez ,J.:Alteración de calizas y areniscas como materiales de construcción..Publicaciones del Ministerio de Educación. Madrid, 1961

6.) En el caso de los cationes su origen tiene que estar en la misma roca. Los aniones, a excepción de los silicatos, pueden proceder también del exterior. Su abundancia es independiente de la porosidad, y su composición de la que tenga la roca, si bien los contenidos son mayores en las calizas que en las areniscas. 7.) Las rocas que en cantera tienen un contenido mayor en sales solubles son también más ricas en las zonas alteradas, pero las diferencias son pequeñas. Los iones más abundantes en las zonas alteradas son con frecuencia muy escasos en cantera, llegando a faltar en algunos casos. En muy pocos las sales solubles en las rocas envejecidas son más escasas que en cantera. 8.) Los procesos son idénticos, con independencia de las condiciones climáticas, muy distintas de unas localidades a otras, de la posición de las rocas en el edificio y de la situación de éstos, ya estén en ciudades o en el campo.

Baldini[5] ,al estudiar los problemas de alteración en Florencia, analiza la acción del CO_2, SO_2, SO_3, cloruros, nitratos, humo, agua de lluvia, agua subterránea, plantas y animales, etc., destacando la importante participación de las sales solubles. Dupas[6] atribuye también a las sales solubles un importante papel en los procesos de erosión y hace una selección de técnicas analíticas útiles para las determinaciones de laboratorio.

Los compuestos de azufre y especialmente los sulfatos se consideran como los más peligrosos. La formación de costras y la presión de hidratación conducen al deterioro de los materiales de construcción, y el grado en que la alteración se presenta está condicionado por la concentración de sulfatos en el agua que contiene la roca; las rocas sedimentarias, debido a su porosidad, son gravemente atacadas por el agua y por las disoluciones salinas. En varios tipos de costras calizas con varias subcapas, en España, ocurre, según Rutte[7], que la costra es al principio blanda y porosa, gris, blanca o amarilla, pero después de algún tiempo se hace dura por el continuo flujo de carbonato de calcio disuelto que va a la superficie y su color cambia a amarillo, rojizo o marrón; la uniformidad de la costra se destruye por la aparición de estalladuras (fig. 5.2), por conversión en yeso, por la transformación de piritas y marcasitas incluidas en la estructura de la piedra, etc. El aire contaminado y también los sulfatos del suelo y otras sales, arrastrados por el agua al interior de los muros, pueden ser responsables de las costras. Según Kolarov y colaboradores[8], las superficies de caliza que permanecen largo tiempo húmedas son las primeras en desarrollar costras de yeso y se oscurecen rápidamente por el polvo y la suciedad; eventualmente estas costras se descaman. Los bloques calizos que contengan sales de hierro se ponen rojizo marrones después de estar expuestos al aire húmedo y pueden llegar a desintegrarse por el aumento de volumen que acompaña a la hidrólisis de los compuestos de hierro; lo mismo sucede con. bastante frecuencia para el mármol.

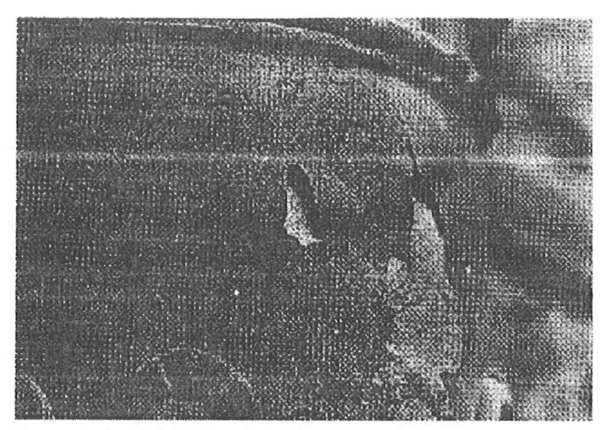


Figura 5.2. Catedral de Palma de Mallorca. La aplicación de alumbre férrico a la superficie de la piedra origina la formación de ampollas, fenómeno este muy generalizado en la fachada principal. Aunque, este alumbre tiñe muy bien las calizas blancas, es sabido que «quema» la superficie y genera el tipo de alteración que muestra la imagen. Actualmente, técnicos mal informados están aplicando el alumbre directamente en alguna fachada monumental, lo que ocasionará daños .La aplicación correcta del alumbre, según nuestra información, lo considera como un ingrediente de una formulación más compleja en la que desempeña el papel de protector de la cola animal.

En un artículo respecto a la estructura cristalina de las calizas, De Henau[9] ha sugerido que el grado y distribución de la cristalización de la calcita es importante para el conocimiento de la alteración; media sobre láminas delgadas de calizas tres parámetros: 1.) % de macroporos de diámetro medio mayor de 30,50 micras, 2.) % de estructuras compactas, y 3.) % de estructuras micro o cripto-cristalinas o fibrosas, generalmente microporosas. Comparando estos parámetros con las porosidades medidas en pequeños bloques de la misma roca, llegó a la conclusión de que en el caso de que los oolitos estén embutidos en una matriz microcristalina, el contacto con sulfatos lleva a una desintegración muy importante ya que la presión de expansión característica de la conversión del carbonato de calcio en sulfato de calcio con dos moléculas de agua, no se puede absorber por la masa cristalina compacta; por otra parte, tipos de calizas consistentes en oolitos que estaban conectados unos con otros por medio de una masa porosa, podían absorber tal presión y resistir la acción de las soluciones de sulfatos; las limitaciones del método son muy grandes.

En areniscas con cemento calcáreo la corrosión es generalmente del mismo tipo que para las calizas; un notable fenómeno de deteriorización según Iñíguez[4], es la disolución del constituyente silíceo del cemento dando ácido silícico coloidal. Las areniscas como material de construcción aguantan relativamente mejor las condiciones desfavorables;se ha publicado por Delvert[10] un extenso estudio sobre la erosión y formación de costras sobre las areniscas de los monumentos de Camboya.

Las rocas ígneas en los monumentos son estables en contacto con el agua pero su estabilidad se ve disminuida por los cambios de temperatura ya que la erosión resultante de la expansión/contracción alternante, las hace porosas desde la superficie hacia el interior y el agua penetra.
Los granitos y el basalto están fuertemente afectados por este tipo de deteriorización ya que, después de las pérdidas

[5].-Baldini,U.: «Problèmes de Conservation à Florence» en I.I.C.London Conference on Museum Climatology.Londres,1967
[6].-Dupas,N.: «L'analise chimique des pierres calcaires et de leurs alterations dans les Monuments»,en 3.è Colloque sur l'alteration de pierres (ICOMOS-ICOM-Centre de Roma-IR-PA).Bruselas, 1968
[7].-Rutte,E.:«Kalkkrusten in Spanien»,en Neues Ib Geol. N. Paläontool.Abh., vol.106,nº1,1958,pp.52-138.
[8].-Kolarov,N., Cholacova,I.,Proinova,R.:«Contamination of Cal cium Sulfate during cristallisation from supersatured solutions»,en Russian Journal of Inorganic Chemistry,vol 9,1964,pp.421-423.

[9] .-De Henau ,P.: «Recherche de la signification de la structure des calcaires observée en lame mince»,en *3.é Colloque* Bruselas , 1966 ,p23.
[10].-Delvert,J. :« Recherches sur l'erosion des grés des Monuments d'Angkor».*B.Ec.r.Extreme Orient,*,1963,vol.41,pp.453-534.

mecánicas de la superficie,las disoluciones acuosas penetran y disuelven el feldespato,etc.Este tipo de alteración se ha observado por Burgues y Schaffer[11] en la alteración del granito rosado de *La aguja de Cleopatra* en Londres y también Vôute[12] lo ha reconocido en los bloques de andesita de Borobudur en Java.

La aparición de una eflorescencia blanquecina o amarillenta,que se ha llamado *mond-milch,* sobre las rocas, parece ser el resultado de un proceso complejo que implica la acción de microfloras amonificantes y reductoras del hierro sobre inclusiones calcáreas, dolomíticas o de fosfato cálcico ; una forma criptocristalina de la calcita, la lublinita, se ha sugerido por Jaton, Pochon, Delvert y Bredillet[13] como típica del mond*milch,* pero la presencia de arcilla *y* cuarzo pueden modificar mucho su constitución; el *mond-milch* generalmente no es perjudicial para las rocas, pero puede oscurecer las esculturas, como *en Borobudur, o tapar* los contornos de las pinturas como en Lascaux.

Sharma[14] ha publicado la alteración de un monumento de esteatita en la India, indicando que los responsables de este caso particular fueron un depósito grande de hollín y excrementos de murciélagos; la murcielaguina en particular suministró la materia orgánica base para el desarrollo de una acción bacteriana; la producción de ácidos hacen al agua de lluvia más agresiva y esto contribuye a la alteración del talco en arcilla.

2.1.1.Acción de la temperatura

La estructura de los edificios no es homogénea, y al aumentar la temperatura los distintos materiales sufren diferentes expansiones de su volumen y esto puede causar daños. Además, según Warnes [15] ,cuando la roca se enfría no se contrae la misma cantidad y esta modificación que es permanente contribuye también a la erosión..

El coeficiente de dilatación térmica de los minerales constituyentes de una roca son diferentes entre ellos y muchos cristales tienen expansiones diferentes según diversas direcciones, por lo que los cambios de temperatura causan tensiones internas que producen roturas. Según Kieslinger[16], debido a que la calcita tiene una dilatación más fuerte según su eje principal, un calentamiento repetido hace saltar los granos de calcita y un mármol se deshace en granos. Según Sneyers[17] ,este fenómeno de anisotropía térmica produce a veces en los mármoles, incluso en las regiones templadas, importantes deformaciones por deslizamientos de los planos cristalinos entre ellos, hasta alcanzar un nuevo estado de equilibrio que se manifiesta por una deformación permanente.

[11].-Burgues,S.G. y Schaffer,R.J.: :«Cleopatra's needle»,Chemistry and Industry,1952.
[12].-Vôute,C.:«Indonesia.Geological and Hidrological problems Involved in the Monument of Borobudur ».UNESCO, 1241/BMS /RD/ CLT.Paris,1969.
[13].-Jaton,J.,Pochon,J.,Delvert,J. y Bredillet,M. : « Etude du mond milch des grottes du Cambodge» en *Annales de l'Institut Pasteur,* vol 110,nº6, p.912. París, 1966.
[14].-Sharma, B.N.: « Conservation of Temple Monument».*Studies in Mu seology.*Baroda,vol.III,1967, pp. 62-65.
[15].-Warnes,A.R.:«Building stones,their properties,decay and preser vation ».Ernest Bern Ltd.London,1926
[16] .-Kieslinger,A. : «Ein Beitrag zurMarmorverwitterung. Erneue rungen am Wierner Postparkassengebaüde».*Osterr. Bamzeitung,* t.9, p.269. Viena ,1933.
[17].-Sneyers,R.: «Les maladies des pierres des nos Monuments», en *Weteuschappelijke Documentatie.*Edt. P.F. Merckx,p.17. Bruselas, 1961

Por otra parte, el coeficiente de conductividad térmica varía para las calizas entre 0,8 y 2,5 kcal/m/h/ºC, según que sean blandas o duras respectivamente, llegando a valer sólo 3 en las rocas eruptivas. Tan baja conductividad térmica, unida a las considerables variaciones de temperatura que pueden producirse entre el día y la noche, entre las zonas al sol y a la sombra, entre el núcleo de una piedra y su superficie, etc., pueden hacer que nazcan tensiones capaces de provocar roturas y deformaciones.

Kieslinger piensa[18] que en muchos casos lo que ocasiona los daños es la relajación que se produce en los materiales después de haber estado sometidos a fuerte insolación y explica por este procedimiento la formación de placas en la superficie de los granitos y areniscas de Nubia así como en la arenisca eocénica del templo de Abu Simbel. Schaffer[19], en el caso tan general de calizas sulfatadas, atribuye el levantamiento de costras a la acción de variaciones térmicas, puesto que la superficie transformada en yeso se calienta más y tiene una dilatación térmica cinco veces mayor que la calcita subyacente; de esta forma, las contracciones y dilataciones repetidas acaban por separar la costra sulfatada del material de base.

También las variaciones de temperatura del agua en el interior de los poros de una roca puede provocar una cierta erosión puesto que el coeficiente de dilatación del agua es muy superior al de las rocas y también, siguiendo a Sneyers[20], las variaciones de humedad reguladas por las variaciones de temperatura pueden desunir los cristales al transformarse en gotitas una película de agua intergranular, puesto que se modifica la presión capilar que es inversamente proporcional al radio de curvatura.

Pero la importancia capital de la temperatura, sin llegar a heladas o fuego, es indirecta, puesto que regula la humedad en los poros de la roca, la solubilidad de los gases y de las sales disueltas, la velocidad de las reacciones químicas y especialmente la hidrólisis que se duplica aproximadamente para una elevación de temperatura de diez grados centígrados.

Respecto a los daños causados por los incendios, son numerosísimos los ejemplos en los monumentos. En estos casos, el calor a que están sometidos los materiales pétreos es máximo y la velocidad de calentamiento es grande; pero la transmisión del calor al interior de la piedra se realiza lentamente y, por esto, el interior continúa estando frío mientras que el exterior se ve sometido a una rápida dilatación que hace que salten trozos de piedra, tendiendo a redondear las formas.

Este fenómeno se produce en todas las piedras, pero en aquellas que contienen cuarzo se producen además los efectos del cambio de estructura a 575 ºC y que va acompañado de una brusca dilatación que hace explotar a los materiales que lo contienen.

Según Mamillan[21], los muros de piedra tienen la

[18].-Kieslinger,A. : «Les principaux facteurs d'alteration des pierres à batir»,en ICOMOS, Monumentum,vol.II ,p.61.1968.
[19].-Schaffer,R.J. : «The weathering of natural building stones». His Majesti's Stationery Office.Londres,1932 (reeditado en 1950).
[20].-Sneyers,R y De Henau, P.J.: «The conservation of Stone»,en UNESCO.*The conservation of Cultural Property.Museos y Monu mentos* ,vol.XI, p.220.París,1968.
[21] .-Mamillan,M.: *Patologie et Restauration des Constructions en pierre.*ICCROM, Roma,1972

ventaja sobre otros materiales, de tener un buen comportamiento en caso de incendio y, según Kieslinger[18], la opinión de que las calizas no son resistentes al calor de un incendio porque se recuecen está en contradicción con su experiencia y con el hecho de que, en incendios normales, ni la duración del fuego ni la temperatura que alcanzan los materiales son suficientes para descomponer las calizas.

El calentamiento de las piedras suele producir cambios de coloración que aun sin tener mayor incidencia en los procesos de alteración que los mencionados, pueden ser importantes en ciertas cuestiones de arqueología para confirmar datos históricos y, en otros casos, dan idea de la temperatura alcanzada durante el incendio.

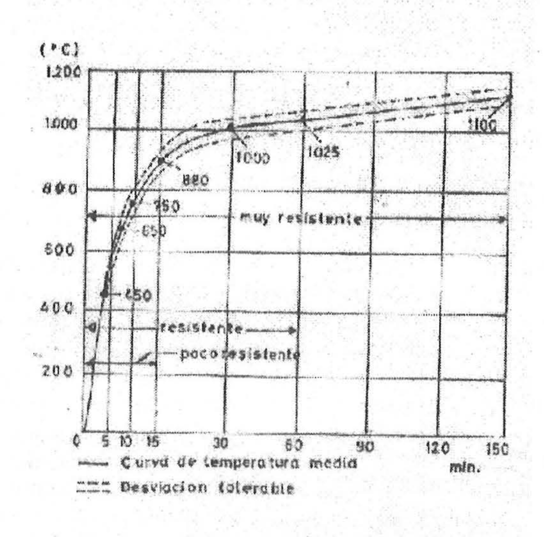


Fig. 5.3. Curva de resistencia al fuego (DIN-DVM 4102)

2.1.2. Daños por el hielo

En países fríos y en la montaña, los materiales húmedos se alteran principalmente por la acción de las heladas. El hielo es perjudicial para los materiales porosos porque el agua al congelarse aumenta de volumen un 9% aproximadamente y puede hacer que se desagreguen los materiales que impregna. Se ha podido comprobar que la presión ejercida por la congelación brusca del agua a –5 °C es del orden de 500 kg/cm^2 y en estas condiciones el hielo no tiene tiempo de extenderse ni dentro de los poros vacíos ni al exterior. Pero estas condiciones de congelación repentina no se dan siempre, sino que más bien la formación de hielo se produce paulatinamente, y por otra parte, el deterioro se observa también cuando un líquido como por ejemplo el nitrobenceno se hiela dentro de los poros sin aumento de volumen[22].

El mecanismo de congelación del agua en ei interior de los poros, se explica actualmente de la siguiente manera. Cuando un poro está lleno de agua, y se enfría por debajo del punto de congelación, se empiezan a formar depósitos laminares de hielo desde el menisco hacia adentro. Las moléculas quedan inmovilizadas en la partícula de hielo, y por debajo de ella el movimiento molecular disminuye creándose una diferencia de presión entre el frente de congelación y el resto del agua en el capilar; para restablecer el equilibrio el agua migra hacia la partícula de hielo y, debido a que la tensión superficial del agua es mayor que el peso del hielo, hace que la partícula se levante y el agua se extiende sobre ella aumentando así de tamaño y haciéndola migrar en el capilar; de su formación resulta un drenaje de los capilares próximos y la partícula de hielo, en forma de lenteja, puede crecer en una zona localizada ejerciendo una gran presión sobre las paredes del capilar. Esto explica por qué en las estructuras porosas que contienen grandes poros, el hielo puede formarse sin que se produzcan presiones destructivas.

La interpretación del fenómeno, por tanto, ha evolucionado y se ha modificado la valoración del fenómeno. En 1908 Hirschvald[23] estudió la alterabilidad por el hielo de los materiales en función de su porosidad y en relación con la teoría del aumento del 10% en el volumen del hielo; definió un *coeficiente de saturación Cs* dado por la relación entre el volumen de poros fácilmente accesibles y el volumen total de poros abiertos. Según esta teoría, como el valor máximo de Cs sería de 0,9 aproximadamente, el hielo actuaría cuando los poros estén llenos en sus 9/10 partes; la experimentación comprobó la validez de esto y se vio que para un valor de Cs inferior a 0,8 no existe peligro de roturas por el hielo.

Para obtener el valor de Cs se dictaron las Normas Din 52103 y 52105, consistentes en determinar por un lado el aumento de peso de las muestras después de una inmersión paulatina en agua durante 24 horas y ,por otra parte, el aumento de peso producido por la impregnación total de los poros abiertos aplicando vacío y luego una sobrepresión de 150 atmósferas. Es importante señalar que las pruebas realizadas demuestran que el daño por el hielo no es proporcional a la porosidad sino que depende más bien de la morfología de los poros, esto es, que una piedra con una porosidad grande puede ser menos alterable por el hielo que otra más compacta, porque lo que interesa es la facilidad con que se alcanza este valor y para los poros grandes es más difícil que se llenen totalmente.

En los últimos años se han realizado investigaciones más amplias sobre estos procesos, especialmente recogidas en los coloquios del RILEM (Reunión Internacional de los Laboratorios de Ensayos y de Investigaciones sobre los Materiales y las Construcciones)[24]. Actualmente se reconoce por unanimidad que todos los materiales pueden ser destruidos por el hielo cuando la cantidad de agua incluida dentro de los poros alcanza el *contenido crítico* (contenido de agua constante a distintos tiempos), con lo cual se provoca una expansión tal que se alcanza en el material el *alargamiento límite* de ruptura (figura 5.4).

[22].-Honeyborne,D.B. y Harris,P.B.: «The Structure of porous building stone and its relation to weathering behaviour«,en Everet,D.H. y Stone,F.S.:*Butter-Worths*,p.343.Londres,1958

[23].-Hirschwald,J.:en *Z.prak.Geol.*,nº16,p.257,1908 ,según referencia de Kieslinger [(18)].

[24].-Rilem,Pem-25: Actividades desde 1964.Anteriormente,en 1957 , Rilem organizó el coloquio *Alteración de los materiales por el hielo.*

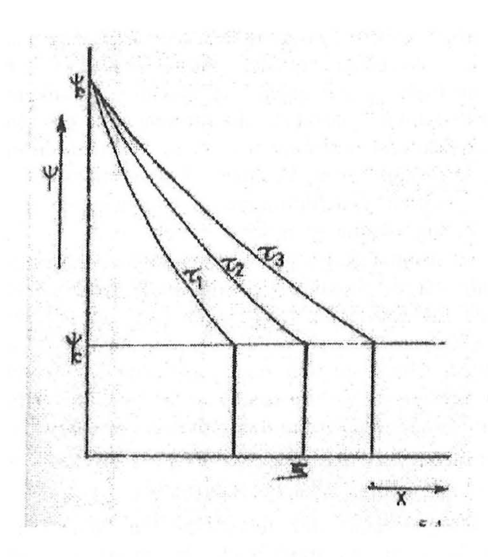


Fig 5.4. Proceso de absorción de agua: Distribucion del agua (Ψ) en un material poroso a diferentes tiempos(λ)

De todas formas, esta hipótesis general es también un poco simplista puesto que en la realidad los fenómenos no son puros, ya que existen muchas veces hetereogenidades locales en el contenido de agua, o gradientes de temperatura que provocan tensiones en zonas particulares, y también sucede que aún sin alcanzarse el alargamiento límite se produce un fenómeno de *fatiga* debido a la repetición de las contracciones y expansiones bajo el .efecto de la formación y fusión del hielo[25].

Cuando un Monumento se acabó de construir, colocando cada material en la parte de la construcción correspondiente a sus propiedades intrínsecas, poco tiempo después las piedras perdieron la parte peligrosa de su «agua de cantera». En ese momento, ninguna piedra es, en sí misma, alterable o no alterable por el hielo, puesto que esto depende de que contenga en sus poros la cantidad de agua crítica. Los materiales pétreos, en función de su exposición en las distintas partes de los monumentos, y también en función de la estructura de sus poros, son capaces de absorber agua y de alcanzar o no este valor crítico.

En 1967, Mamillan[26] publicó sus investigaciones experimentales del daño por el hielo en calizas y hormigón. Basándose en las teorías modernas sobre el mecanismo de la expansión del agua en los poros al congelarse, ha demostrado que para responder de una forma razonable al problema de resistencia al hielo de los materiales, es necesario tener en cuenta dos factores: «estructura del material» y «ambiente de exposición». Esta concepción nueva del problema, modifica el razonamiento clásico de que una piedra de construcción era o no alterable por el hielo, puesto que de lo que depende este riesgo es de las posibilidades de absorción de agua por los materiales, esto es, del emplazamiento en una construcción determinada y de su estructura interna. Según esto, la resistencia de las rocas al hielo se puede determinar en el laboratorio por dos métodos experimentales complementarios: un ensayo rápido indirecto y un ensayo de homologación directo, que permiten situar el emplazamiento correcto de la piedra en la construcción.

El ensayo rápido indirecto consiste en determinar la porosidad total y la cantidad de agua absorbida. Mamillan[27] representa el coeficiente de absorción en función de la porosidad y delimita cinco zonas para la colocación correcta de las piedras en los edificios, que están también de acuerdo con la experiencia deducida de la observación práctica de su comportamiento en los monumentos. El ensayo de homologación directo consiste en someter el material a ciclos acelerados de hielo/deshielo (a –15 °C en el aire y a +5 °C en agua), determinando los efectos por medida de las variaciones en el *módulo de elasticidad mecánico* y considerando que una disminución del 5% caracteriza el estado de ruina en el material.

Estudios de porometría como hemos visto, son del máximo interés los métodos para determinar de una forma precisa la dimensión de los poros abiertos que constituyen los espacios vacíos accesibles por el agua. El porosímetro a mercurio utilizado por Mamillan, ha sido aplicado por Gérad[27] a la determinación de la resistencia al hielo de los materiales de construcción, reavivando las interesantes ventajas prácticas de las antiguas teorías. El instrumento ha sido estudiado por el Institut Français du Petrole (IFP) y el Commissariat á l'Energie Atomique (CEA), habiendo sido realizado por la Société Nationale de Matériel pour la Recherche et l'Exploitation du Petrole (SN. MAREP). El principio experimental consiste en inyectar el mercurio (Hg) a presión dentro de los poros del material, a fin de vencer las fuerzas de tensión superficial que se oponen a su penetración, dado que el ángulo de contacto del menisco de Hg con las paredes del capilar es superior 90 °C estas fuerzas de oposición son vencidas cuando se aplica una presión, tanto mayor cuanto menor sea el radio de los capilares, y la medida del volumen del Hg inyectado a cada presión permite determinar el radio de los poros. El aparato desarrolla una presión máxima de 1.000 kg/cm^2 y ofrece la posibilidad de detectar las cavidades inferiores a una centésima de micra.

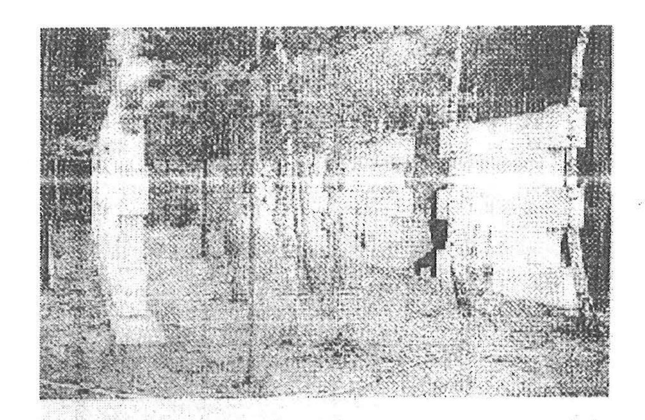
La subida por capilaridad del agua en los materiales (figs. 5.5 y 5.6) imputable a la fuerza de atracción del menisco de agua, es función del radio medio de estos capilares. Gérard define así un *diámetro de poros crítico* para la alterabilidad por el hielo, determinando el valor del diámetro de los poros que corresponden a un 10% de la porosidad abierta alcanzada por el mercurio, que denomina d_{10} y define la regla siguiente:

> d_{10} medio, menor que 2 micras: material no resistente. d_{10} medio, mayor que 3 micras: material resistente.

[25] .-Vos,B.H.: «Characteristic higric properties of materials and their measurement».Instituto TNO for Building Materials Rijswijk,1968, report BI.68/17/3 ,p.11.

[26] .-Mamillan, M.:«La gélivité des matériaux», en *Suppl.Annales de l'I.T.B.T.P.*, nº 235-236, p.1017 .París, 1967

[27] .-Gérad,R.: «Determination de la resistence au gel des matériaux de construction par la porometrie au Mercure»,en *Revue du C.S.T.C.* ,nº1, Bruselas,1969



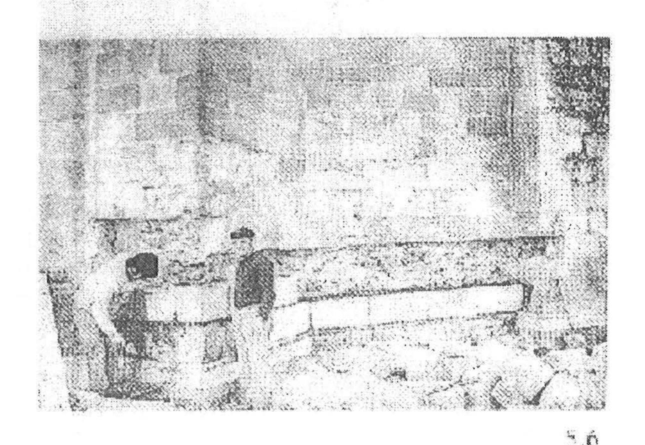


Figura 5.5. Institut Technique de Batiment et Travaux Publics, París. Muros experimentales para contrastar la eficacia de soluciones. Las sondas instaladas permiten el estudio continuo de la humedad, permitiendo verificar el movimiento y la distribución del agua antes y después de la aplicación de los distintos sistemas y productos existentes en el mercado, lo que ha permitido decantar razonablemente la información existente.
Figura 5.6. Trabajos de sustitución de sillares afectados por la ascensión capilar de agua en la concatedral de San Pedro de Soria. Este tipo de reparaciones se ven frecuentemente y tienden a mejorar el aspecto externo de las zonas erosionadas. Desgraciadamente ,al no poner solución al movimiento unidire ccional del agua absorbida por la masa del relleno del muro, ocasionan una ascensión mayor en las zonas interiores y exteriores próximas, por la menor permeabilidad de la roca nueva que reduce el grado de evaporación.

2.1.3. *Contaminación atmosférica*

Introducción. El aumento de la contaminación del aire en áreas urbanas e industriales, está cambiando la proporción de ingredientes perjudiciales en el aire. Waller[28] recoge algunos datos históricos y nos indica que el problema se inicia en el siglo XIII con el uso del carbón: en 1309 se creó en Londres una comisión para impedir su empleo y en 1661 hizo notar a los industriales de Londres que «éste horrible humo oscurece nuestras iglesias, hace que nuestros castillos parezcan viejos, etc» La contaminación ha ido en aumento pero, en los últimos años y en Londres, ha disminuido notablemente gracias al empleo de combustibles con menos impurezas, a la mejor regulación de los hornos para ampliar el grado de combustión y otras medidas por el establecimiento de controles eficaces.

Cada año se aportan al aire cientos y millones de toneladas de contaminantes y esto es debido principalmente a la combustión incompleta en las instalaciones domésticas e industriales, al quemado de basuras, a los motores de explosión y al empleo de combustibles fósiles con compuestos de azufre, etc. Sabemos que el aire es limitado y que lo contaminamos al usarlo como vertedero de subproductos; esto se agrava en muchos casos por una mala ventilación como sucede cuando las montañas altas disminuyen el movimiento del aire o cuando las capas frías de la atmósfera impiden la renovación vertical y la dispersión de los contaminantes: las «inversiones de atmósfera» son frecuentes y ocurren en todas las partes del mundo. En zonas industriales o muy pobladas de Occidente, pueden alcanzarse concentraciones muy grandes de contaminantes y podemos llegar a sentir físicamente sus efectos, en nuestro propio organismo (malos olores, irritación en garganta, ojos, etc.), en el exterior de edificios y monumentos e incluso en el interior y en objetos guardados que se ensucian y se alteran, así como por el daño causado a los vegetales, de tal forma que estas marcas producidas por los contaminantes se pueden utilizar como un índice del grado de contaminación y ayudan a conocer el tipo de agente que ha causado el daño. Por el momento, la principal fuente de contaminantes es la combustión y uno de los síntomas que le acompañan es el humo que puede verse sobre cualquier gran ciudad o zona industrial al viajar en avión.

Los contaminantes que más nos interesan desde nuestro punto de vista, porque participan activamente en la alteración de las rocas y de sus minerales constituyentes, son: los anhídridos del azufre sulfuroso y sulfúrico, los del nitrógeno nitroso y nítrico y el anhídrido carbónico, así como las impurezas sólidas y líquidas en especial el hollín, polvo, etc., en donde también se encuentran concentrados los gases mencionados junto con otros productos de la pirolisis de los combustibles. El agua de la atmósfera disuelve los gases en forma de iones, actuando principalmente sobre las piedras en forma de disoluciones ácidas. Para el estudio de estos fenómenos nos hemos basado principalmente en el trabajo de Thomson[29] y desde un punto de vista general en la obra de Magill[30] y colaboradores.

En las proximidades del mar y zonas desérticas, el aire contiene cantidades importantes de sales, cloruros, sulfatos y nitratos principalmente. Cerca de industrias específicas la contaminación puede deberse a otros elementos, como por ejemplo el polvo de cemento, pero estos casos particulares no serán considerados aquí.

Acción de los contaminantes. —En los edificios monumentales de las grandes ciudades y zonas industriales, la enfermedad dominante en las piedras es, sin ninguna duda, la «sulfatación». El SO_2 y el SO_3 son los componentes que participan activamente en esta forma de deteriorización y proceden principalmente de la combustión de materiales que contienen azufre. Estos anhídridos se producen normalmente en la proporción 10/1 respectivamente pero, en la atmósfera, varios mecanismos de oxidación conectados con la luz, la humedad, la presencia de oxido férrico, pentoxido de vanadio, etc.,

---

28 .-Waller, R.E.:«Studies on the nature of urban air pollution», en *Coference on Museum Climatology IIC,* p.65.Londres,1967.

29 .- Thomson,G.:«Air Pollution: a review for Conservation Chemist», en *Studies in Conservation,* vol.10,nº4,p.147 Londres,1965.

30 .-Magill , P.L.,Holden,F.R.,Ackley,Ch.:*Air pollution Handbook.* McGraw-Hill-Book Co. Nueva York,1956.

aceleran la transformación del primero en el segundo de tal forma que poco tiempo después de la emisión la relación es a favor del SO_3. En la atmósfera, estos gases tienden a asociarse con gotitas de agua de niebla, bruma o con partículas sólidas, constituyendo aerosoles. Para el SO_3, la presión parcial de vapor, menor que 10^{-4}, es capaz de reducir el punto de rocío del sistema SO_4H_2/H_2O pudiéndose formar aerosoles de ácido sulfúrico a las temperaturas normales; para las partículas sólidas en suspensión el fenómeno se debe a su capacidad de absorción y a su higroscopicidad.

Lo que llamamos humos son en realidad emisiones compuestas por gases, partículas sólidas (polvo, cenizas, hollín, etc.) y líquidas (condensaciones de productos sin quemar como el gasoil o productos de la pirogenación como los alquitranes). El tamaño de estas partículas puede variar desde submicrométricas hasta las que tienen una fracción de milímetro. Las más grandes, que son también por regla general las más pesadas, se depositan pronto y constituyen la fracción denominada «sedimentable», pero las más ligeras, por ser pequeña su cantidad de movimiento (mv), son arrastradas según las líneas de flujo del aire y pueden difundirse mucho. En estos aerosoles, por ser termodinámicamente inestables, las partículas acaban por unirse formando otras más grandes y pesadas que también se depositan sobre los materiales; este fenómeno se puede producir en las partículas líquidas porque las gotas pequeñas se evaporan por su mayor tensión de vapor, haciendo que aumente el tamaño de las grandes, (regulado a su vez por la presión del vapor de agua en el aire y por las impurezas higroscópicas que contengan; además muchas partículas están cargadas eléctricamente y el signo de la carga depende del proceso de dispersión en cada sistema de aerosol, lo que puede hacer que se unan entre ellas.

Los mecanismos que hacen que estos gases entren en contacto con la superficie de las piedras cubriéndolas e impregnándolas gradualmente, son principalmente debidos a: la lluvia que lava la atmósfera, la acción de la gravedad sobre las partículas de polvo que llevan absorbidos los gases y la humedad, la acción de los aerosoles líquidos o sólidos por coagulación o por atracción eléctrica (los materiales pétreos suelen estar cargados negativamente), y también tiene marcada influencia la conductividad térmica dé la piedra, pues cuanto mayor sea ésta más rápidamente se enfriará el material y mayor será la condensación de los aerosoles[31].

Los efectos del aire contaminado sobre los edificios han sido revisados recientemente por Schaffer[32] y los efectos específicos del SO_2 sobre los materiales de construcción han sido tratados por Stambolov[33], entre otros. Los procesos de corrosión suceden a la interfase ácido sulfúrico/piedra, y conducen a la transformación de los materiales calcáreos (calizas, mármoles, enlucidos, morteros, pinturas al fresco, etc.) en yeso, a la formación de sales de Candlot a partir de materiales que contienen alúmina, a la alteración de minerales de hierro y otros metales, así como a la aparición de los extremadamente perjudiciales sulfatos de sodio y magnesio.

31 .-Winkler, E.M.:«Decay of Stone», en IIC Conference on Conservation of Stone and Wooden Objects, p.12, Nueva York,1970.

32 .-Schaffer, R.J.:«The effects of air pollution on buildings and metalworks» en *Air Pollution ,p.71,*Butterworths.Londres,1957.

33 .-Stambolov,T.:«Effects of Sulfur Pollution on Building Materials», en ICC-*Conference on Museum Climatology* , p.18.Londres,1967.

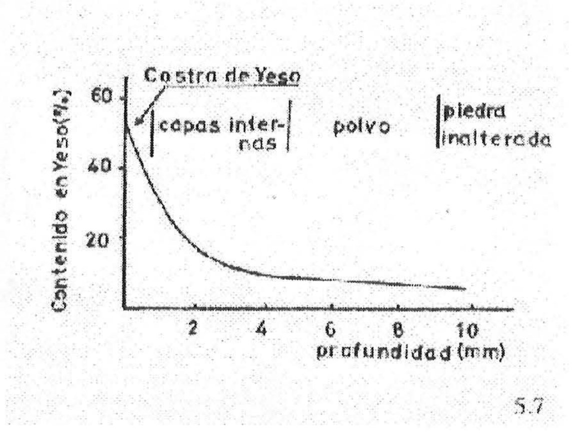


Figura 5.7. Composición de una costra de sulfatación sobre calizas. Según Romanovski ([34]).

La acción del ácido sulfúrico sobre el carbonato de calcio empieza por la descomposición del carbonato y, de la disolución precipita el $SO_4Ca.2H_2O$ generalmente en forma de un agregado cristalino aunque para pH comprendido entre 3 y 6, se forman agujas finas y largas que por contener mayor superficie interna pueden absorber mayor cantidad de sustancias extrañas, las cuales colorean en gris, marrón o amarillo las costras formadas sobre las piedras.

Las costras de sulfatación estudiadas por Romanovski[34] sobre calizas de monumentos de Francia, tienen un espesor de 0,1 a 1 mm y están compuestas por 20-30% de sulfatos (principalmente yeso), 2-20% de carbonatos, 0,2-0,5% de cloruros y 0,2-0,3% de compuestos de hierro (fig. 5.7). A 1 cm de profundidad, la roca tiene la misma composición que en la cantera. Entre la costra y la roca inalterable hay varias capas con diferentes contenidos en sulfatos.

Mamillan[35] al estudiar las características del estado de superficie en piedras calizas sulfatadas de Francia llega a las siguientes conclusiones:

1.ª) la dureza, sobre todo para las piedras porosas, ha aumentado incluso hasta un 60% respecto a la parte interna, 2.ª) la densidad aumenta incluso hasta un 25% respecto al material subyacente y es también más considerable para las piedras porosas, 3.ª) la permeabilidad al agua de la parte superficial se reduce hasta el 50% pero nunca resulta totalmente impermeable, 4ª) la evaporación disminuye y para piedras muy porosas puede resultar muy compacta y las posibilidades de evaporación de las piedras se reducen hasta en un 50%, 5ª) la composición química de las muestras estudiadas indica que se ha producido una disminución en el contenido de carbonato de calcio y que están compuestas por sulfato de calcio como elemento mayoritario.

Teniendo en cuenta que la solubilidad del yeso en agua es grande relativamente (202 mg en 100 gr de agua) y que

34 .-Romanovski, V.:«Studes sur les pierres calcaires des Monuments» en *Corrosion et Anticorrosion,* vol.3,p.191,1955.

35 .-Mamillan,M.:«Recherches récentes sur le nettoyage des façades en pierre calcaire» , en *Suppl.aux Annales de l'I.T.B.T.P.* nº 199-200, pp.858-888. París,1964.

la presencia de otras sales aumenta la solubilidad todavía más, así como la presencia de otros sulfatos como los de sodio y magnesio, muy solubles y capaces de formar cristales hidratados de gran volumen, se comprende que las repetidas disoluciones de estas sales acaben por disgregar las capas superficiales de las piedras.

Solubilidad del Yeso en disoluciones de Cloruro de Sodio (20 °C)

ClNa (gr)	$SO_4Ca.2H_2O$ (gr/Kg)
0	2,02
0,29	2,70
5,85	3,15
11,70	3,75
14,62	4,00
29,25	4,70
58,50	6,00

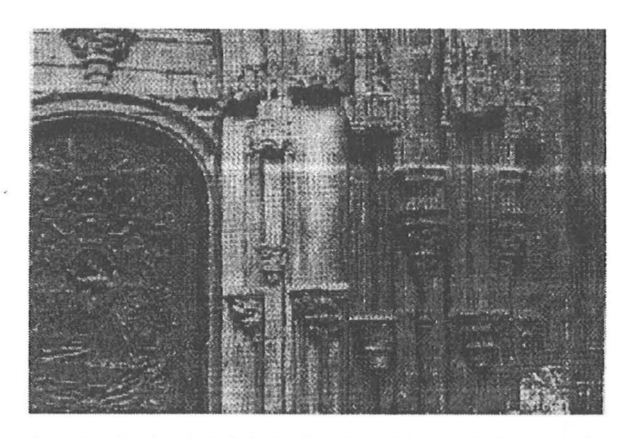


Figura 5.8. Catedral de Oviedo. Pórtico principal. Prueba de limpieza en la chambrana de la puerta central. Aunque esta zona de la Catedral se ha tenido como ejemplo de ennegrecimiento y alteración por atmósfera contaminada, al estilo de otros monumentos de centroeuropa, y en varias ocasiones se han propuesto planes de limpieza con chorro de arena, etc., como se hizo con la torre románica de la Catedral y con casi todos los edificios antiguos de la ciudad, una limpieza cuidadosa pone de manifiesto la epidermis original rojiza y tersa, perfectamente conservada a excepción de la parte baja afectada por humedades ascendentes de capilaridad. A la vista de estos casos, se hace preciso revisar nuestra interpretación de las «superficies sulfatadas» distinguiendo los tratamientos de superficie originales de las transformadas por acción de los contaminantes atmosféricos

En los monumentos, las costras de sulfatación se forman principalmente en las superficies protegidas de. la lluvia, esto es, en las caras expuestas al NE, en la parte baja de las cornisas y también dentro de los huecos de los modelados que no se lavan fácilmente (fig. 5.8). Cuando la piedra no resiste a los humos, la costra se desprende de la piedra, se forman ampollas, se desagrega y se exfolia, dejando al descubierto una superficie pulverulenta fácilmente erosionable por la lluvia y el viento. Un hecho interesante consiste en que las costras de sulfatación se forman también sobre piedras no calizas y sobre los ladrillos, pero un atento examen revela casi siempre que esto se produce cuando por encima de estos materiales hay piedras calizas o morteros de cal, los cuales cargan el agua de sulfato de calcio que se deposita sobre los materiales subyacentes. Esto también puede deberse a que el polvo natural puede haber actuado como neutralizante del agua de lluvia ácida; el polvo natural está compuesto principalmente por polvo eólico procedente de los campos de cultivo o de las zonas más desérticas y contiene compuestos carbonatados y minerales de arcilla capaces de reaccionar con el ácido sulfúrico y, esto permite explicar el relativamente alto contenido de calcio en la atmósfera y en el agua de lluvia.

También los ladrillos, que han sido cocidos a una temperatura de unos 900 °C, adquieren rápidamente una superficie oscura en contacto con el aire contaminado y húmedo, mientras que los ladrillos refractarios conservan largo tiempo su color original. Stenestad [36] supone que, en los ladrillos de cocido normal, un sistema capilar submicroscópico mantiene la humedad superficial y atrae el polvo, mientras que los refractarios se secan pronto y carecen de la humedad necesaria para fijar las partículas de polvo. Una diferencia similar se observa entre las rocas sedimentarias, morteros y yesos que se ensucian mucho y las rocas ígneas que se conservan mejor.

Aunque parece que el $S0_2$ es la causa principal de la alteración de las piedras calizas y dolomias, debemos señalar que sólo una parte de las utilizadas en construcción son alteradas por los humos: como dijimos, las causas de deterioro son más amplias y esto hace que la resistencia de las piedras a la atmósfera contaminada sólo se conozca aún de forma empírica por medio de la observación de su comportamiento en los monumentos.

Los nitratos se añaden a la atmósfera durante los procesos de combustión, aunque también es frecuente encontrar un contenido alto (desde 2,9 ug/m^3 a 8,4 gr/m^3) en zonas tropicales y subtropicales después de intensas tormentas eléctricas. Se acepta que los nitratos, en parte formando ácido nítrico, contribuyen activamente a la corrosión de las piedras. Por otra parte, estos gases contaminantes sufren una alteración fotoquímica al mezclarse con los hidrocarburos presentes también en el aire, dando oxidantes fuertes; el nivel oxidante se mide generalmente como el contenido en ozono, producido también durante las tormentas, el cual transforma rápidamente al $S0_2$ en $S0_3$. Al amoniaco indica actividad humana y descargas eléctricas en la atmósfera, pudiendo oxidarse para dar nitratos o neutralizar una parte de los ácidos contenidos en el agua de lluvia. Haagen-Smith[37] ha realizado para los conservadores una importante revisión de estas cuestiones. Un constituyente muy importante y no tóxico de la atmósfera es el CO_2 que en zonas rurales alcanza un promedio de 0,034% (pero que en zonas contaminadas puede representar más del 0,27%). Más del 50% del anhídrido carbónico que va a la atmósfera procede de la combustión. Es esencial conocer la cantidad de CO_2 disuelto en el agua porque influye en la solubilidad de los carbonatos y acelera la descomposición de las rocas silicatadas. Todos los minerales carbonatados aumentan su solubilidad al aumentar la presión parcial del CO_2 en el agua. En los minerales silicatados, la disolución no es un

[36].-Stenestad, E.:«Schmutzempfindlichkeit der ziegel», en *Die Ziegelindustrie*, nº20, p.91, 1966

[37].-Haagen-Smith, A.J.:«The chemistry of atmospheric pollution», en California Institute of Technology. Texto policopiado sin ref. de publicación.

proceso tan simple. La transformación en caolín de los feldespatos y otros aluminosilicatos (caolinización) comienza cuando durante el proceso de alteración se alcanza la proporción correcta de Al/Si y progresa hacia el interior de la roca debido a la hidrólisis. Keller y colaboradores [38] estudiaron la alteración de los minerales silicatados que más corrientemente forman rocas, utilizando agua cargada con CO_2 y vieron que se duplica, con relación al agua destilada, la velocidad de disolución de Ca, Mg, Na y K; el feldespato y la moscovita son mucho más sensibles que los otros minerales, pero incluso el cuarzo, que es la forma más estable de la sílice, se disuelve a razón de 4-5 ppm; la solubilidad de las rocas y minerales aumenta a medida que disminuye el contenido de SiO_2.

La disolución de estos compuestos es normalmente un proceso geológico de larga duración, pero en atmósferas contaminadas el proceso es más rápido; según Winkler[31], la velocidad de alteración es exponencial: muy lenta al principio cuando la roca está aún fresca pero que progresa rápidamente produciendo la decoloración de los feldespatos, hornblenda y micas, pérdida del pulimento y disminución de la dureza.

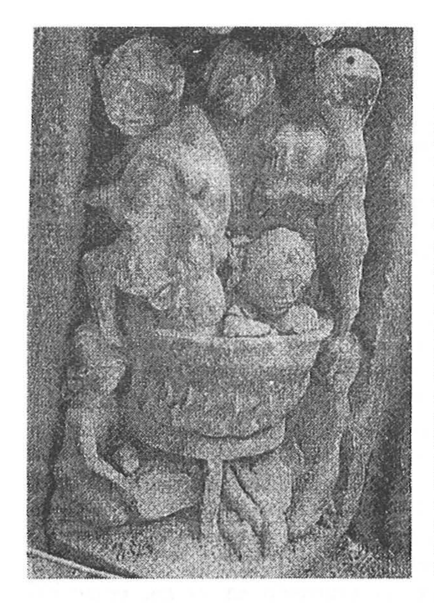


Figura 5.9. Catedral de Burgos. Portada de la Coronería. Detalle de la suciedad acumulada entre los relieves escultóricos. Los análi sis microbiológicos rea lizados por algunos técnicos indicaron la existencia de multitud de micro organismos, pero nuestro entender esto no significa mucho para el problema que nos ocupa. Es indiscuti ble que existen microor ganismos capaces de alterar la piedra , pero en casos como el presente lo que advierte es ausencia de limpieza y mantenimiento.

2.1.4. Alteración por agentes biológicos.

Los árboles y las plantas, cuando crecen sobre los muros pueden ser causa de alteraciones, por ellos mismos o por impedir la evaporación del agua. Según Massari[39] , indican generalmente que es alto el contenido de humedad y se consideran más como el resultado de la degradación que como la causa de la alteración (fig. 5.9).

Los líquenes, asociación simbiótica de un alga y un hongo, se encuentran sobre muchos monumentos e indican invariablemente que el sustrato tiene un alto contenido en humedad; por encontrarse frecuentemente cerca de las bajantes de agua y en las zonas afectadas por la subida capilar del agua del suelo, su presencia puede servir para una rápida estimación de la distribución de humedades en el monumento. Schaffer[32] describe con gran detalle el daño que producen. Los líquenes se caracterizan por su capacidad de atacar las superficies de roca limpia, constituyendo uno de los primeros pasos en la formación de un suelo capaz de soportar plantas de organización más complicada. Describe dos tipos de líquenes diferentes, los calcifilos, que prefieren vivir sobre las rocas carbonatadas, y los salicifilos, que se encuentran principalmente sobre la superficie de las rocas ígneas. El mecanismo de alteración comporta dos aspectos principales:

a) El carácter esponjoso de los líquenes hace que retengan la humedad en la piedra subyacente pudiendo contribuir a un daño posterior, pues, cuando existen, se encuentra frecuentemente que el contenido de humedad en el muro está casi continuamente sobre el nivel crítico y, dado que uno de los principales mecanismos de alteración se debe al número de ciclos mojado-seco de la piedra, tales arenas están preservadas porque el número de ciclos es pequeño; sin embargo, en las partes adyacentes y en las correspondientes del interior, el deterioro se acelera.

b) Por secreción de ácidos y cambio iónico. El pequeño catión H^+, producido por los rizomas de los líquenes y por las raíces de las plantas, ataca de forma importante el CO_3Ca y cambia en los minerales los iones metálicos nutrientes. Una vez que el proceso ha comenzado, se acelera por la acción de los ácidos carbónico, húmico y otros ácidos orgánicos.

Los hongos pueden causar daños en las pinturas murales hechas al temple, por atacar el sustrato orgánico de las mismas, pero su importancia en la alteración de los materiales pétreos no es clara. Según Henderson y Duff[40], los hongos *Aspergillum niger, Spicaria sp.* y *Penicillum sp.*, producen cantidades considerables de ácidos citríco y oxálico a partir de disolución de glucosa al 5% y se cree que éstos son los más activos que pueden producir; también por la acción de disoluciones de cultivos de hongos sobre unos pocos minerales formadores de rocas, se separaron Al, Mg y SiO_2 y el hongo más activo parece ser el *Aspergillum niger* presente en algunos líquenes negros, pues por su acción la biotita pierde hasta un 14% de SiO_2. En ocasiones, según Reiher[41], los hongos han sido empleados como prueba para indicar las zonas húmedas en los muros.

El daño causado por los insectos se refiere generalmente a los materiales orgánicos tales como madera y, por lo tanto, está fuera de nuestro estudio. Los pájaros tienen bastante influencia ya que sus excrementos contienen nitratos, lo que contribuye al deterioro de la piedra. Otros animales como las almejas, esponjas, lombrices, erizos, etc., excavan las rocas de monumentos sumergidos en el mar; Clapp y Kuk[42], han recopilado mucha bibliografía sobre este asunto para la Office of Naval Research.

Los microorganismos tienen una influencia indudable en algunos procesos de alteración de las piedras,

---

38.-Keller ,B. y Reesman,K.:«Dissolved products of Artificialy pulveri -zed silicate minerals and rocks» , en *Journal Sedimentary Petrographie* vol. 33,p.191 ,1963.

39.-Massari, G.:*Risanamento igienico dei locali umidi.* Hoepli. Milán 1959,(3ª Ed. ampliada, 1967)

40 -Henderson, M.E.K. y Duff, R.B.:«The release of metallic and Silicate ions from minerals rocks and soils by fujjal activity», en *Journal Soil Science,* vol.14 , nº2,pp.236-246, 1964.

41.-Reither, H:«Klimatologie der Gerbaüde», en *Boden und Wandecke,* nº10,p.814,1964.

42.-Clapp, W.F. y Kunk, R :«Marine Borers».*Office Naval Research* ACR.-74, 1963.

pero desde un punto de vista cuantitativo su influencia ha sido puesta en duda; recientes investigaciones llevadas a cabo por Pochon[43] y Jaton [44] tratan de aclarar este aspecto del problema que es el que se considera de mayor interés dentro del ámbito de los mecanismos de alteración biológicos en los monumentos.

En calizas y areniscas utilizadas en la construcción de edificios y monumentos en Francia y en Cambodia, Pochon[45 y 46] y Pochon y Coppier[47] han observado la presencia de tiobacilos; las lesiones se caracterizan por un alto contenido en sulfatos y, en ellas, se han aislado tiobacilos oxidantes de sulfuros. El mecanismo encontrado comprende la reducción, en el suelo próximo a los cimientos de los sulfatos a sulfuros (desulfovibrio-desulfuricans) y los sulfatos son arrastrados dentro de los muros por el agua de capilaridad, concentrándose al irse evaporando las disoluciones. La corrosión de areniscas también ha sido descrita por Sadurska y Kowali[48] como una sucesión de organismos. La alteración en unas calizas con costras que no contenían sulfatos pero sí nitratos fue observada por Kauffmann[49] y Kauffmann y Toussaint[50], pudiendo aislar bacterias nitrificantes que oxidan el nitrógeno presente en el aire y en el agua de lluvia a nitratos y éstos convierten el carbonato de calcio en nitrato de calcio soluble. Ensayando sobre piedras sanas las bacterias nitrificantes aisladas en las lesiones, se produjo el fenómeno de corrosión. Para las bacterias heterótrofas, se escribe generalmente que no son muy importantes en estos fenómenos de alteración, aunque según Levowitz[51] han sido la causa de importantes daños en suelos de cemento de factorías de alimentos sucios por las substancias orgánicas, lo que no resulta inconcebible dado que las bacterias pueden excretar sustancias corrosivas.

Según Pochon[43], los grupos funcionales que intervienen de forma importante en los mecanismos de alteración de las piedras son relativamente pocos; esencialmente se trata de los autótrofos «nitrificantes» del ciclo del nitrógeno que generan nitratos y, sobre todo, los del ciclo del azufre: a) los oxidantes que generan sulfatos y b) los mineralizadores del azufre orgánico, todos ellos generadores de SH_2 finalmente se puede considerar que en la corrosión de areniscas quizás intervienen las bacterias que atacan a los silicatos, pero su acción es aún dudosa.

Se acepta normalmente que para decidir sobre la importancia de los mecanismos de alteración biológica observados en una piedra alterada, debemos conocer: 1) La presencia de organismos en número suficiente como para explicar el fenómeno observado. 2) Aislar e identificar el organismo. 3) Reproducir el fenómeno cualitativa y cuantitativamente, inoculando el organismo en un material sano. Un ejemplo que demuestra la importancia del punto 3, quedó bien patente, según Hueck[52], en los estudios sobre la corrosión microbiológica del acero, pues aunque se aislaron bacterias capaces de producir la corrosión, el daño que producen es cuantitativamente poco importante; esto indica que la corrosión microbiológica del acero existe pero que no es el único factor. Las dificultades propias de esta clase de experiencias hacen que no se realicen siempre; un punto de importancia relativamente menor es la identificación de los organismos, porque no es siempre cierto que el organismo haya sido propiamente identificado dado que la taxonomía cambia continuamente al mismo tiempo. Al primer punto se atribuye la mayor importancia; los microorganismos, por estar presentes en casi todas las zonas del exterior, existen sobre casi todas las piedras, pero son más numerosos en las alteraciones en donde intervienen como factores primarios o secundarios y, por consiguiente, se han de contar empleando técnicas de análisis cuantitativo.

Según Pochon[43] el análisis, por lo menos al principio, no debe ser para la determinación de la especie en el sentido taxonómico del término, sino más bien para la función bioquímica y fisiológica que le caracteriza, o mejor aún, para la de la función mayor del conjunto presente sea cuál fuere la posición sistemática de las especies que la componen; él mismo recomienda unas técnicas de estudio para determinar los factores biológicos de alteración, válidas para bacterias, actinomicetos, hongos y algas.

En la actualidad el estudio de los factores microbiológicos de las piedras se realiza dentro de programas de estudio más amplios, en los que están comprendidos los análisis químicos de los elementos salinos presentes, así como el estudio de los materiales pétreos sobre los que se desarrollan las características externas de las lesiones en que se encuentran y otros elementos de apreciación importantes para aclarar estos procesos. En esta línea de estudio, Jaton[44] estudia algunos monumentos de Francia analizando materiales de caliza, arenisca, molasas y mármoles. Los principales tipos de alteración encontrados son «alveolización» y descamación; en el caso general de alveolización, las bacterias nitrosa nítricas y los tiobacilos oxidantes del azufre, son poco numerosas; en las costras con gran contenido en sulfatos los tiobacilos son abundantes aunque las bacterias nitrificantes (nitrosomonas y nitrobacter) siguen estando en número restringido; al hacer comparaciones en condiciones ecológicas idénticas, los tiobacilos aparecen dominantes en las zonas más alteradas y su número varía en el mismo sentido del contenido en sulfatos. Este mismo autor, al estudiar las alteraciones de una zona húmeda por capilaridad desde el suelo, encuentra una vez más una actividad bacteriana reductora de sulfatos en el suelo y oxidante en la parte superior del muro, demostrando otra

---

43 .-Pochon, J.:«Facteurs biologiques de l'alteration des pierres», en *Colloque I*,p.99. Bruselas,1966.

44 .-Jaton, Ch.:«Contribution à l'etude de l'alteration des pierres». Tesis doctoral. Faculté des Sciences d'Orsay.Universidad de París, 1971.

45.-Pochon, J.:«Rôle des bactéries dans certaines alterations des pierres des Monuments» en *Chimie et Industrie*, nº65, p.496,1951.

46.-Pochon, J.:«Intervention bacterienne dans la degradation des temples d'Angkor», en *Comptes Rendues a l'Academie des Sciencies*, nº 248, p3644.París,1959.

47.-Pochon, J. y Coppier, O.:« Rôle des bactéries sulfato-réductrices dans l'alteration biologique des pierres des Monuments», en *Comptes Rendues a l'Academie des Sciencies* , nº231 ,p.1584. París,1950

48.-Sadurska, I. ,y Kovalik,R. : «Experiments on control of Sulphur bacteria active in biological corrosion of stone»,en Act.Microbiol. PO1,vol.15, nº2, p.199,1966.

49.-Kaufmann,J.: « Rôle des bactéries nitrifiantes dans l'altération des pierres calcaires des Monuments», en *Comptes Rendues a l'Academie des Sciencies*,nº234 ,p.2395, 1952.

50.-Kaufmann,J. y Toussant, D.: «Corrosion des pierres: nouvelles expériences montrant le rôle des bactéries nitrifiantes dans l'alteration des pierres calcaires des Monuments»,en *Corrosion et Anticorrosion*,2,p.240, 1954.

51.-Levowitz, D.: «Anti-bacteria cement, gives longer lasting floor», en *Food Engineering*, nº24, p.57 , 1952.

52.-Hueck-van der Plas,E.H. :«The microbiological deteoration of porous building materials» , Central Laboratory TNO,report 6/67. Delf, 1967.

vez la rotación del ciclo biológico del azufre y viendo que los tiobacilos son más abundantes en estas zonas que en cualquier otra parte del muro más rica aún en sulfatos.

En el estado actual de nuestros conocimientos y aún en el caso más significativo de alteración microbiológica en los materiales pétreos, las bacterias del ciclo del azufre y en especial los tiobacilos, no se puede aún estimar la proporción de sulfatos debidos a mecanismos físico químicos (contaminación atmosférica, sales del mar o del suelo, etc.) o al metabolismo biológico, aunque parece claro que en las zonas rurales estos organismos intervienen marcadamente en los procesos de alteración de los monumentos.

En los monumentos de países con clima húmedo y caliente, la alteración por agentes biológicos tiene una gran importancia. Los líquenes en países tropicales actúan tan intensamente que su eliminación figura, según Coremans[53] y Gairola[54] como elemento indispensable en los programas de preservación, al contrario de las otras zonas climáticas en donde el proceso se considera siempre secundario, e incluso nulo para los líquenes en zonas urbanas o industriales, pues según Schaffer[32] no toleran el hollín ni los sulfatos.

2.1.5. Alteración por sales solubles

Las sales solubles en agua son probablemente una de las causas más frecuentes y más extendidas de deterioro de los materiales pétreos en los monumentos. Estas sales, sea cual fuere su procedencia, se ponen en movimiento por el agua y se acumulan en las zonas de evaporación, en donde cristalizan. Los aportes de agua líquida y los cambios en la humedad en los materiales hacen que las sales cristalicen, se hidraten y se disuelvan, fenómeno que al repetirse acaba por comprometer la solidez de los materiales más resistentes.

La composición de las sales solubles puede ser muy variable, pero, por regla general, las que se encuentran más frecuentemente son: sulfatos de sodio, potasio, calcio y magnesio, cloruros de sodio, potasio, calcio y magnesio, nitratos de sodio, potasio, calcio y los carbonatos de sodio y potasio. La procedencia de estas sales puede ser muy diversa; los materiales originales y los empleados para restaurar o reconstruir los monumentos pueden contenerlos (piedras, ladrillos, cal, cemento, arena del mar, agua de reparación, etc.) o producirlos por alteración (hidrólisis de silicatos, descomposición de piritas, marcasitas, etc.) y también el aire puede ser una fuente importante, por la contaminación (gases industriales, volcanes, etc.) o por transportarlos desde las regiones marítimas, etc. Otras muchas veces, las sales proceden del suelo, arrastradas por el agua de capilaridad que sube a los muros y estar enriquecida con sales de ácidos orgánicos del humus o de la descomposición de los restos orgánicos que se acumulan alrededor del monumento durante su ocupación. También suele ser una fuente importante de sales los diversos productos de limpieza, conservación y consolidación, los fungicidas, los anti-hielo, etc., que pueden dar origen a compuestos muy diversos.

En los materiales de construcción, el agua migra a través de los capilares; en este movimiento, las sales solubles son arrastradas y luego se difunden, se hidrolizan o precipitan. Ante un gradiente térmico, según ICCROM[55], estas sales iónicas disueltas migran hacia las partes más calientes mientras que el agua se mueve hacia las más frías y de esta forma algunas de las sales disueltas pueden producir voluminosos compuestos sólidos. La precipitación y la cristalización de sales puede producirse en la superficie, cuando el agua aflora regularmente durante los procesos de evaporación, y debajo de la superficie cuando el frente de líquido retrocede, aunque generalmente ambas formas suelen estar próximas y frecuentemente interconectadas, según indica Knetsch[56].

El movimiento de las disoluciones en los poros tiende a empobrecer los materiales cementantes, pues se disuelven y son transportados en disolución hasta la superficie, en donde durante la evaporación del agua precipitan en el orden siguiente: carbonato de calcio, carbonato de magnesio, sulfato de calcio y luego los cloruros y nitratos. Según esto, los poros de la superficie se rellenan en parte a expensas del debilitamiento interno y por eso las costras de la superficie que se desarrollan de esta manera tienen que ser consideradas como la capa más externa de una estructura de corrosión más complicada subdividida en las siguientes capas: a) costra superficial, b) estrato empobrecido en adhesivo, diferenciándose generalmente varios subestratos, y c) material sano.
Si las sales responsables de la costra son poco solubles, el material adquiere un recubrimiento protector como es el caso particular de costras a base de hidróxidos de hierro, aluminio y magnesio o de fosfatos. Por el contrario, los sulfatos, cloruros, nitratos y sales de ácidos orgánicos, depositados debajo del frente de evaporación, son la causa de graves deterioros.

Los cloruros son muy higroscópicos y, durante la condensación del agua, son las primeras sales en volver a estar disueltas. Una vez en disolución son muy activos en tres aspectos principales: 1) son extremadamente móviles, penetrando y rompiendo muchas estructuras cristalinas, 2) peptizan grandes aglomerados de moléculas facilitando su transporte por el agua, 3) aumentan la falta de estequiometría de los cristales. Estas propiedades de los cloruros explican que los materiales pétreos que los contienen tiendan a pulverizarse. De forma similar actúan los nitratos y las sales de ácidos orgánicos (fig. 5.10).

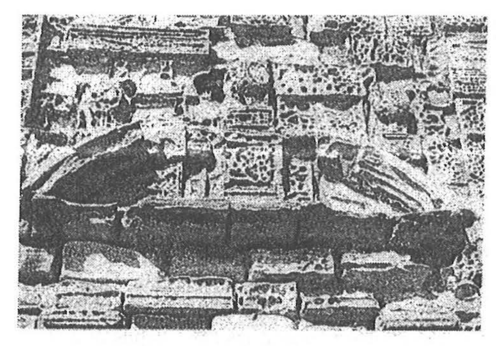
Completamente diferente es la acción de los sulfatos. Estas sales son depositadas en los poros desde sus soluciones sobresaturadas, como hidratos

$$(SO_4Na_2.10H_20, SO_4Mg. 7\,H_20, SO_4Ca. 2\,H_2O)$$

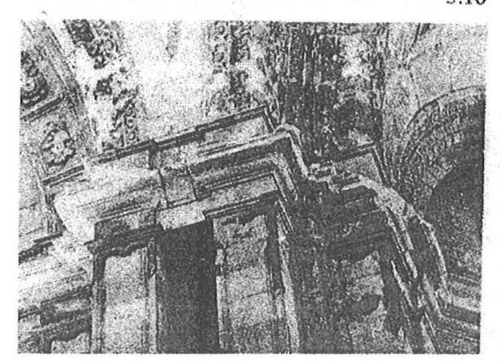
y cuando la evaporación prosigue, el depósito seca fuera. Las sales formadas de esta manera son agregados microcristalinos y, debido a su fina estructura porosa, promueven el flujo de más soluciones desde el interior de los poros a la superficie, lo cual puede conducir al relleno gradual del volumen de poros detrás de la zona de evaporación. El aumento de la humedad relativa del aire hidratará las sales, lo cual provoca un aumento de volumen y, por tanto, una presión sobre las paredes de los poros (presión de hidratación) (figs. 5.11 y 5.12).

53.-Coremans, P.:«La Protection du Patrimoine Culturel dans le climats chauds et humides», report ICOM.Leningrado, 1963.
54.-Gairola, T.R.: «Examples of the preservation of Monuments in India» , en *Museums and Monuments.* UNESCO,vol.XI, p.150, 1968.

55.-ICCROM:*Preservation of the Monument of Mohenjo Daro. Pakistan.* UNESCO.Roma ,1959.
56.-Knest,G.:«Geological Considerations concerning the preservation of Egyptian Monuments specially of Philae, Abu Simbel and Luxor». Informe UNESCO, 1959.







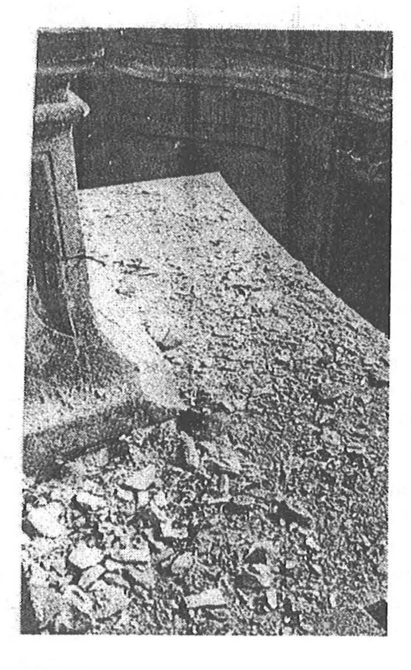


Figura5.10. Iglesia del Salvador Gijón. Fenómeno de corrosión en la arenisca de Somió por la acción de los cloruros del agua del mar. Figura 5.11. y 5.12 .Catedral de Cádiz. Detalles del interior mostrando la rotura de fragmentos de piedra. La caliza de Estepa contiene sulfatos solubles en agua que cristalizan en el interior de los poros de la roca con presiones suficientemente altas como para justificar las roturas.Los ciclos de eflores cencia y cristalización de estas sales, dependiendo de la humedad relativa del aire, determinan el proceso.

La formación de eflorescencias y sales hidratadas, así como la conversión de una forma en la otra, depende de su presión de vapor y de la temperatura. De acuerdo con esto, una sal hidratada pierde su agua si la presión de vapor del hidrato a una temperatura determinada es más alta que la presión parcial del vapor de agua en el aire a esa misma temperatura; cuando sucede al contrario la sal se hidrata. Por ejemplo, en el caso de una disolución de sulfato sódico, a temperaturas por debajo de 32,4 °C la sal precipita como un compuesto con diez moléculas de agua de cristalización, pero para temperaturas mayores se transforma en sal anhidra; un aumento de la Hr puede actuar convirtiéndola en el hidrato, pero el que esta conversión sea parcial o completa, está determinado por el grado de diferencia entre la presión parcial del vapor de agua y la presión del vapor de la sal a una determinada temperatura. Por lo tanto, la cuantía del daño resultante de esta rítmica contracción y presión en las paredes de los poros está determinada por la presión de hidratación que puede desarrollar una sal en determinadas circunstancias.

Cuando la presión de hidratación sobrepasa la resistencia de las paredes de los poros, éstas se rompen y hacen que sea mayor el espacio útil para la precipitación de las sales. Los materiales alterados por este mecanismo son muy permeables al aire, y con ello más vulnerables; la superficie tiende entonces a arrugarse y muy probablemente aparecerá como una costra sucia y contraída.

Según Butterworth[57], disoluciones conteniendo más de 0,1% de sulfatos son consideradas peligrosas para los materiales porosos. De acuerdo con Butterworth[58] el que disoluciones tan diluidas sean capaces de producir deterioros graves se debe al hecho de que la mayoría de los poros tienen sección transversal elíptica; la evaporación soluciones de un tubo capilar de sección circular, permite el retiro gradual del menisco hacia el interior, y la concentración de la disolución bajo el menisco puede difundirse hacia adentro; en el caso de un poro de sección transversal elíptica, o cualquier sección transversal irregular en la cual exista una curvatura elíptica, el menisco no se desplaza hacia adentro en el lugar donde termina el eje mayor, y la menor pérdida por evaporación se compensa por un suministro lateral. El resultado es una sobresaturación local que deposita las sales en los puntos donde el poro es estrecho por lo que la presión de hidratación conduce a la deteriorización aunque el poro no esté lleno de sal (fig. 5.13).

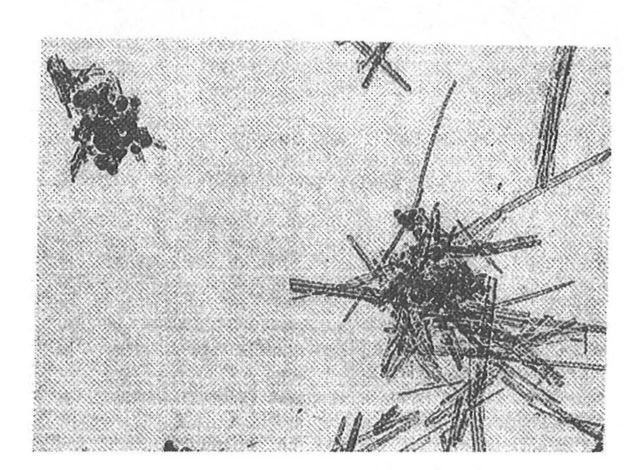


Figura 5.13.Partículas de attapulgita ,vistas al microscopio electrónico en transmisión, a unos 3000 aumentos.Como J. Alonso vio en 1965, forman parte de algunos de los materiales pétreos de nuestros monumentos, como la caliza de Hontoria (Catedral de Burgos), la arenisca de Villamayor (monumentos de Salamanca), arenisca gris de Novelda de Alicante (muy utilizada en Madrid),etc .La gran capacidad de hinchamiento, al aumentar el contenido de agua , compromete la solidez de los materiales que la contienen.

57.-Butterworth, B: « Some striking examples of efflorescence on brickwork» . *7 Congress Int. Of Cement.* Londres, 1960.

58.-Butterworth, B : «Les efflorescences sur les maçoneries en brique», en *Silicates Industriels,* 1955.

3. ESTADOS DE SUPERFICIE

El trabajo de la piedra, junto a los sistemas de corte y labra, ha otorgado un importante papel a los morteros para juntas y recubrimientos, que han sido objeto de estudio por el ICCROM[59] en el simposium de 1981.

Las normas generales recogidas por Vitrubio para los estucos[60] y las técnicas empleadas por los pintores para esculturas, molduras y fachadas recogidas por Cennino Cennini[61], Theophilus[62], Pacheco[63], etc., y modernamente por Doerner[64] y otros, han permanecido bastante fielmente hasta el siglo XIX, pero en el siglo xx se han transformado sustancialmente por ese cambio de mentalidad que ha hecho parecer a muchos que los métodos antiguos estaban pasados de moda, poniendo al mismo tiempo a su disposición nuevos materiales y técnicas más acordes que los antiguos a las exigencias actuales de rapidez y rendimiento.

A los aglutinantes fundamentales de las mezclas antiguas, la cal, el yeso y la arcilla, se le agregaron muy frecuentemente otras sustancias tales como la albúmina del huevo, la caseína de la leche, sangre, azúcar, etc., habiendo sido revisados por Siekels[65], quien recoge 41 sustancias entre el año 150 antes de Jesucristo y el año 1850.



Figura 5.14. Castillo de Yagüe. Soria. Detalle del parámetro exterior mo trando la alteración de morteros de juntas , causa del de rrumbamiento de los silla res .

Partiendo de la base del interés que los arqueólogos demuestran por la interpretación analítica de los restos de morteros antiguos y las conclusiones cronológicas que establecen en ocasiones, Jedrzejewska[66] ha buscado en ellos un criterio analítico, llegando a establecer una metodología de trabajo, pero otros investigadores como por ejemplo Frizot[67] aprecian graves dificultades en la interpretación científica de los resultados suministrados por la arqueología a la vista de los datos analíticos disponibles. En pocos casos se puede pasar de la certeza de una composición aproximada de cal y arena como la que indica Vitrubio, no siendo posible encontrar las siete capas que él indica sino más bien las dos o tres más próximas al bien hacer de los artesanos, aunque está claro que, en algunos casos, la presencia de ciertos materiales determina una diferencia entre obras sucesivas, como sucede con las lascas de pizarra utilizadas en las juntas de las reparaciones del siglo XIX en la Catedral de León, por ejemplo (fig. 5.14).

En los recubrimientos de superficie, Baldi, Cordaro y Mora[68] plantean el problema en su mayor complejidad, pues la naturaleza misma de su función hace que estos recubrimientos sean considerados como «una piel a sacrificar» que recibe los agentes que causan la alteración y que van a ser rehechos antes o después; por otra parte, también representan un valor estético vinculado estrechamente al concepto arquitectónico que los personaliza fuertemente. En la actualidad encontramos diversos estudios de laboratorios sobre monumentos españoles que ignoran la existencia de estos tratamientos originales, identificados los materiales añadidos a la piedra como procedentes de la contaminación atmosférica o como derivados de un proceso natural de envejecimiento en la llamadas «pátinas de cromatización» [68 bis] Los enlucidos coloreados, que son normales en la arquitectura antigua y aún están presentes en muchos monumentos españoles, no pueden ser considerados solamente como un efecto decorativo superficial, sino más bien como el resultado de una elección consciente que acentúa por su variedad las diferencias de relieve en los miembros arquitectónicos, contribuyendo así a determinar los diferentes planos de la espacialidad de una obra. Otra función importante es la de proteger la piedra de la acción agresiva de los agentes atmosféricos.

En la actualidad estamos estudiando las características de los recubrimientos de superficie en diversos monumentos españoles (fig. 5.15), de lo que daremos cuenta proximamente, limitándonos aquí a mostrar algunos datos de los obtenidos durante los trabajos de restauración proyectados[69] y dirigidos por nosotros, de forma directa en las Catedrales de Oviedo y León y de

---

[59].-ICCROM:«Mortars, Cements and Grouts used in the Conservation of Historic Buildings». *Symposium* , Roma , 3-6 nov.1981

[60].-Vitrubio:*Los diez libros de Arquitectura.*Reimpresión Obras Maestras.Barcelona.,1970

[61] .-Cennino Cennini: *El libro del Arte.*Reimpresión en Ed.Meseguer. Barcelona,1950.

[62].-Theophilus: *On divers arts*. Reimpresión en Dover Publ. Nueva York,1979.

[63] .-Pacheco, Francisco: *Arte de la pintura*. Reimpresión Instituto Valencia de D. Juan, 1956.

[64].-Doerner, M.: *Los materiales de pintura y su empleo en el arte.*Ed. Reverte, Barcelona,1965.

[65].-Sickles, L. B. : «Organic Additives in Mortars» , en *Edimburg Architecture Research*, vol .8 ,pp. 7-20 , 1981.

[66].-Jedrzejewska, H.: «Ancient Mortars as criterion in Analyses of old Architecture» , en *ICCROM Symposium*, pp.311-329. Roma ,1981.

[67] .-Frizot, M.:«L'analyse des mortiers antiques: problemes et resultats», en *ICCROM Symposium*, pp.331-339. Roma ,1981.

[68] .-Baldi, P., Cordaro M., Mora P. y Mora L.: «Architec ture/Couleur», en *ICCROM Symposium*, pp.133-140. Roma ,1981.

[68 bis].-Esbert R. y Marcos R. : *Las piedras de la Catedral de Oviedo y su deterioración* . Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Asturias. Oviedo ,1983.

[69].-Cabrera Garrido J.M. :1) «Proyecto para la conservación de dos arcos del Claustro de la Catedral de Oviedo», 2) «Proyectos para la conservación de esculturas de la Catedral de León, y pináculos del costado norte» , 3) «Proyecto para la Conservación de la Portada de San Gregorio en Valladolid », 4)) «Proyecto para la Conservación de la Portada de San Pablo en Valladolid ». Ministerio de Cultura.Dirección General de Bellas Artes.Madrid,1983

forma indirecta en la fachada de San Gregorio de Valladolid. Otro proyecto realizado por nosotros para proteger los recubrimientos de la fachada de San Pablo de Valladolid, está siendo dirigido por otro técnico por encargo de la Dirección General de Bellas Artes, planteándose un concepto diferente de renovación de los estucos, opuesto al de conservación que yo preconizaba en el proyecto.

Es evidente que los estucos de superficie modifican las características de los materiales y condicionan por tanto los mecanismos de alteración y los tratamientos a aplicar, por lo que deberían ser tenidos muy en cuenta en los programas de estudio de materiales. Otro aspecto importante es el de su significado histórico y estético. Propongo también este tema como asunto del coloquio que a continuación tendremos.

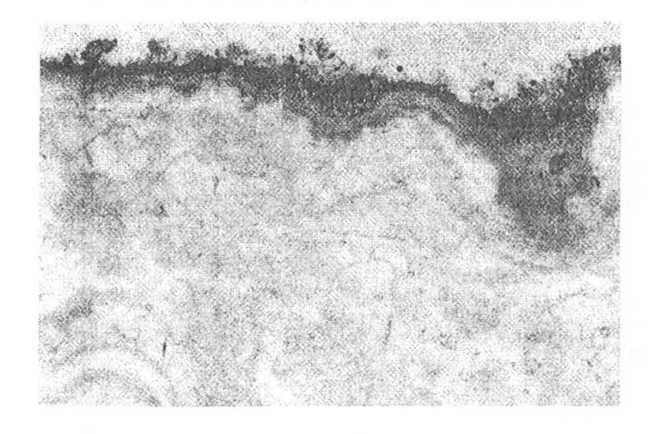


Figura 5.15 Catedral de Palma de Mallorca.Portal del Mirador. Micro fotografía 85 aumentos de la sección transversal de la superficie de la piedra. Sobre la caliza blanca de Santanyi se aprecia una capa rojiza a base de proteínas insolubilizadas con alumbre, que según Gabriel Alomar se daba para proteger la piedra y realzar las esculturas.

4. TRATAMIENTOS DE LA PIEDRA

4.1. Limpieza

Los materiales pétreos se ensucian principalmente por acción de los contaminantes atmosféricos de las zonas urbanas e industriales y, en nuestros días, los tratamientos de limpieza adquieren proporciones importantes.

Los distintos procedimientos industriales que se aplican a los monumentos cada vez con mayor frecuencia, tienden a liberar la superficie de todas las sustancias extrañas adheridas a ella y, aunque se realizan con el mayor cuidado, hacen que desaparezca la epidermis original de la piedra que constituye el elemento más destacado de su significación histórica. Por esto, muchos monumentos están siendo alterados más o menos intensamente en los últimos tiempos.

La limpieza tiene como fin hacer legible el objeto para restituirle su significado y es siempre una operación delicada porque es irreversible. Si bien el principio en que se basa es sencillo, a menudo es muy costoso de realizar en los monumentos ya que el estado que se procura alcanzar depende en gran medida de su significado, esto es, de los mensajes de que es portador y que son de muy diversa índole, existiendo muchos imperceptibles a primera vista que una limpieza poco prudente puede destruir.

Por su parte, los distintos procedimientos en uso también plantean una problemática específica que hace necesario concretar el estado actual de conocimientos con vistas a seleccionar los más convenientes a cada caso.

Desde el punto de vista de la conservación, en las conclusiones del ICOM-1963[70] quedó claramente establecido que:

> mantenerlas limpias (las piedras) no es solamente una necesidad estética sino, sobre todo, una condición técnica de conservación de los materiales pues retarda los procesos de alteración. La eficacia de la limpieza sólo es real cuando se aplica a tiempo, antes de que el ataque sea profundo, y se debe repetir periódicamente lo que acentúa la importante noción del cuidado periódico de los monumentos.

Actualmente, los conceptos establecidos en este corto resumen siguen siendo válidos y los especialistas coinciden en afirmar que los tratamientos de limpieza periódicamente realizados son el sistema más eficaz para combatir la degradación de los materiales pétreos en los exteriores, aunque los sistemas van evolucionando y la limpieza de paredes con agua va entrando en el abandono por el peligro de eliminación de estucos originales y la penetración de agua en los muros llegando a salir por el interior, ya que parecen ser considerables los efectos negativos ante las imprevisibles penetraciones de la humedad. Aparte de esto, existen restricciones ya clásicas al uso del agua, motivadas por la presencia de sales solubles que deben ser eliminadas en seco o con papizas absorbentes, evitando aplicar agua a la superficie pues se regenera el proceso fisicoquímico causante de las eflorescencias.

Entre los métodos desaconsejables por los especialistas[71] para la limpieza de los monumentos cabe señalar los siguientes: a) ácidos de cualquier tipo; b) sustancias alcalinas con un pH mayor o igual a 10; c) chorro de arena seco o húmedo; d) pulido mecánico con escalpelo, espátulas de hierro y utensilios giratorios de cualquier tipo; e) chorro de vapor o de agua a presión; f) pulimento con llama, pudiéndose recomendar únicamente los métodos muy controlados por un especialista cualificado, empleando pastas absorbentes con arcillas o formulaciones con EDTA y compuestos amoniacales, así como la nebulización que da resultados convenientes en determinados casos.

En España, actualmente podemos decir que se abre un grave interrogante en cada monumento que se ve sometido a proceso de limpieza, pues son de uso común los sistemas más agresivos y desaconsejables, tales como el chorro de arena, el agua a presión, productos químicos alcalinos y ácidos e incluso la sosa cáustica, etc., que causan daños muy superiores a los que pretendían evitar con la intervención. Este podría ser un tema más a proponer para el coloquio: posibilidades y limitaciones de los distintos procedimientos y productos en su utilización en los monumentos (fig. 5.16).

---

[70] .-UNESCO: *International Council of Museum*. Leningrado-Moscú, 1963.

[71] .-Rossi-Doria P.,Tabasso M. y Torraca G. : «Nota sui trattamenti Conservativi dei Manufatti Lapidei». Atti ICR. Laboratorio Prove su Materiali. Roma,1977.

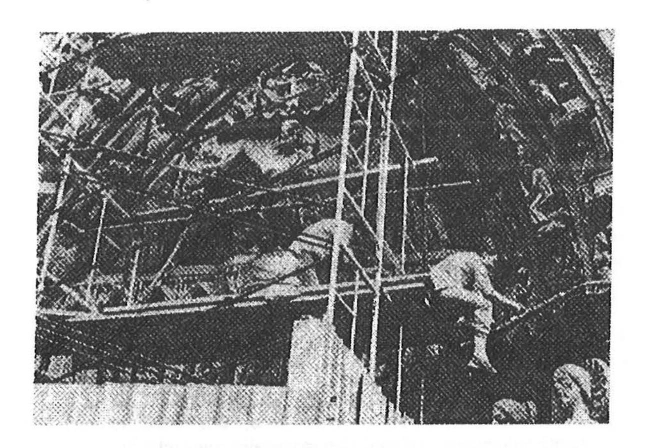


Figura 5.16.Catedral de Burgos.Portada de la Coronería. Grupo de jovenes universitarios limpiando manualmente la fachada, bajo nuestra dirección, en julio de 1979. La limpieza tiene como fin conservar y hacer legible el objeto, pero es una operación muy delicada porque es irreversible. Si bien el principio en que se basa es sencillo, su aplicación a los monumentos debe hacerse con operarios que comprendan la naturaleza de los mensajes potenciales, o la utilización de los sistemas industriales normalmente en uso por las empresas de limpieza. En multitud de monumentos de primera magnitud que han sido limpiados en los últimos tiempos, se ha podido demostrar el uso de sistemas totalmente desaconsejables, tales como el chorro de arena, agua a presión ,productos químicos ácidos y alcalinos, etc.,llegándose incluso a detectar el empleo de sosa caústica y ácido clorhídrico.

4.2. Consolidación y protección

Para consolidar y proteger la superficie de los materiales pétreos en los monumentos, se ha intentado aplicar productos orgánicos e inorgánicos pero, como indica Liberti[72], los resultados conseguidos por lo general son poco satisfactorios en atmósferas húmedas. Aparte de los problemas intrínsecos a la naturaleza misma del producto consolidante, la dificultad mayor según Warnes'[5] y Sneyers[20] deriva de la insuficiente penetración de los productos en el material pétreo poroso. Para la protección de superficies se ha intentado la aplicación de capas adhesivas a base de aceite de lino cocido, de resinas naturales, lechada de cal, silicatos alcalinos, fluosilicatos, fluoruros, siliconas, disoluciones de sales de bario, etc.. y la consolidación de materiales disgregados se ha intentado igualmente por impregnación con disoluciones reales o coloidales de numerosos productos, la mayor parte de los ya citados y también de ceras, parafinas, caseína, albúmina de huevo, cola espesada con alumbre, resinas vinílicas, acrílicas, epoxídicas, de poliéster, jabones metálicos como los estearatos de aluminio y zinc, ésteres silícicos, etc.; pero aplicados en exteriores estos productos desilusionan muchas veces porque sus efectos no son generalmente muy duraderos.

La aplicación periódica de productos naturales, ha sido el sistema de mantenimiento utilizado normalmente en la antiguedad y Vitrubio nos dice como «mezclando a la cal heces de aceite, al endurecerse, no permite que el agua ni otra clase de humedad penetre» y «a fin de que el mortero no padezca con las heladas, se deberá reparar todos los años antes del invierno cubriendo con heces de aceite la cal». Cennino Cennini aplica un temple de cola y yema de huevo.Rudel [73]propone la mezcla de caseína y cola. Petresco[74] una emulsión de potasa, cera resma de Dammar y amoniaco. Doerner también señala el empleo de cola insolubilizada con alumbre, y Gabriel Alomar[75], al tratar sobre la arquitectura gótica del siglo XV en Palma de Mallorca, nos dice:

> No creemos, en cambio, que la Lonja hubiera tenido policromía exterior; pero estamos seguros de que en ésta, como en el Portal del Mirador, la piedra de Santany fue sometida a un tratamiento, una especie de barniz (a base de cera, de albúmina, etc., posiblemente con un ligero colorante uniforme), tratamiento que protegía superficial mente el material y que realzaba las esculturas.

Durante la segunda mitad del siglo XIX se aplicaron muchos tratamientos a las piedras, en muchos casos con efectos claramente perjudiciales como en el de los silicatos alcalinos, lo que causó un rechazo a este tipo de soluciones por crear mayores daños que los que trataban de resolver[76]

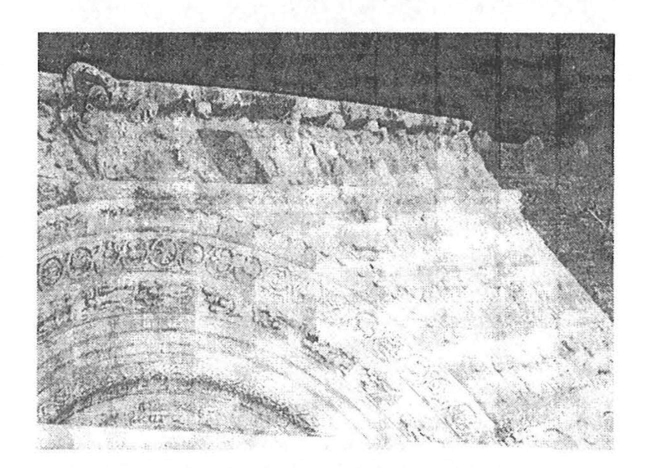


Figura 5.17.Portada del Monasterio de Ripoll. Gerona. La fotografía muestra el aspecto de algunas de las pruebas de consolidación realizadas por diferentes técnicos, antes de nuestra intervención en 1965. Se puede ver el aspecto de la cera de San Martín, la lechada de cal de Selim Augusti, los fluatos de Kesler, etc.Aunque en algunos proyectos se exigen experiencias concretas con diferentes productos para elegir lo que el director de obra estime más adecuado,esto no debe hacerse directamente en el monumento pues deja discontinuidades imposibles de eliminar en muchos casos. Respecto a los productos de tratamiento, tenemos suficientemente claro que solo podemos recomendar esencialmente cuatro tipos de entre toda la multitud de materias naturales y sintéticas conocidas.

Pero de forma más general, el problema radica en que cuando estas soluciones penetran en el material, deben reaccionar con otros agentes introducidos más tarde o perder por evaporación el disolvente; así, las soluciones reales tienden a depositarse en el frente de evaporación y las dispersiones coloidales tienden a romperse inmediatamente después que la fase sólida se pone en

---

72 .-Liberti S.: «Consolidamento dei materiali da construziones dei Monumenti Antichi».*Bolletino Istituto Centrale del restauro* , vol. 21-22, p. 43. Roma ,1955.

73 .-Rudel J.: *Technique de la peinture*. Presses Univer.de France,1950.

74 .-Petresco C.: *L'art de la fresque*.Lefranc, París, 1948.

75 .-Alomar G. :*Guillen Sagrera y la arquitectura gótica del siglo XV*. Ed.Blume, pp.136-137,1970.

76 .-Lewin S.Z. :«The preservation of natural stone , 1839-1965», en *Art and Archaeology technical abstracts,* vol.6, nº1, pp.185-272.I.I.C. Londres,1966.

contacto con las paredes de los poros o con contaminantes electrolíticos capaces de provocar la floculación. En ambos casos, lo que se logra es la consolidación de la superficie del cuerpo poroso, lo que es poco útil o perjudicial, pues impide la evaporación de la humedad, atrae el polvo y la suciedad, favorece la formación de estalladuras y costras en las zonas en donde el agua puede aún evaporarse, originándose allí también acumulación de sales solubles. Implica esto que sobre los materiales húmedos no pueden aplicarse revestimientos impermeables de ceras y resinas, y de ningún modo en cualquier sitio en el que exista un movimiento unidireccional de humedad de dentro a fuera, pero esto no puede decirse para los materiales secos situados en zonas de precipitaciones de lluvia importantes pero cortas y poco frecuentes en donde las protecciones exteriores cumplen una eficaz y duradera función protectora.

De entre todos los productos propuestos para el tratamiento de la piedras, cabe destacar los siguientes grupos: 1) Sales de bario. 2) Silicatos alcalinos y ésteres silícicos. 3) Acido fluosilícico y fluosilicatos. 4) Siliconas. 5) Ceras. 6) Polímeros sintéticos (en disolución y en dispersión, termoplásticos y termoendurecibles). 7)Monóme ros sintéticos.

Sería muy importante poder discutir pormeno rizadamente los principios en que se fundamentan cada uno de ellos y es un tema que también propongo para el coloquio. Pero, en líneas generales, lo más aconsejados pueden ser: 1) Sales de bario 2) Resinas acrílicas. 3) Silicato de etilo. 4) Alkiltrialcoxisilano. 5) Alkil-aril-polisiloxano total o parcialmente polimerizado.

De entre todos los productos aceptados, preferimos las formulaciones a base de resinas acrílicas[77], solas o mezcladas con xilanos [78], porque los sistemas orgánicos del tipo barnices acrílicos, aunque son permeables al vapor de agua como todos los sistemas de lacas conocidos hasta el presente, nos ofrecen las propiedades de revestimientos más favorables y muy particularmente la reversibilidad que sólo se realiza plenamente a partir de este grupo de sistemas orgánicos. Además, no cambia el color de las superficies tratadas y el posible brillo se elimina fácilmente en superficie. La elección del disolvente es de gran importancia para conseguir que el producto sólido permanezca en el interior de los poros, acumulándose lo menos posible en las superficies, para lo cual recomendamos el *white spirit* que, junto con el *xileno,* establece un par disolvente-diluyente útil al fin perseguido.

Nuestra experiencia viene desde 1964, y en todos los casos los resultados siguen siendo satisfactorios.

5. CONSERVACIÓN *Y* RESTAURACIÓN.

Todo lo que hasta aquí hemos examinado tiene sentido si lo que nos proponemos es conservar los materiales originales constitutivos de un monumento en su forma propia. No ha lugar a un diagnóstico si lo que se realiza es una sustitución de los elementos en vías de alteración. Esa es la esencia y la razón de ser del concepto moderno de la conservación que tiende a respetar los elementos auténticos procurando que se conserven lo mejor posible durante el mayor tiempo posible, sobrepasando así el antiguo criterio de ir reponiendo las zonas dañadas con elementos nuevos, pues la función cultural del objeto no se puede sustituir en forma alguna. Las reposiciones de elementos escultóricos y ornamentales que se han realizado en la Catedral de Burgos o en las fachadas de San Gregorio y San Pablo de Valladolid, entre otros, además de ir en contra de la Ley, sólo reflejan unas actitudes inmaduras, de quienes pretenden rehacer con sus manos y copiando todo aquello que les parece imperfecto o inacabado. Cuando leemos en discursos de Academia y periódicos de 1983[79]:

> de las piedras mutiladas o desaparecidas, estamos injertando las fracciones mutiladas y trasplantando las desaparecidas con otras piezas nuevas seleccionadas e idénticas de la misma piedra, pero elegida y nacida del taller de cantería como desde la mesa de operaciones...,en nuestro caso el transplante es no ya igual, sino idéntico; de la misma cantera de origen, Hontoria, y los tallistas y canteros tienen la misma destreza y preparación que los antiguos con una mayor cantidad de medios técnicos a su alcance con lo que consiguen una restauración perfecta de las piezas y, en lugar de rechazo, se produce lo contrario, lo trasplantado se funde en el conjunto comportándose como una simbiosis, con la única diferencia del color que en el momento de la operación es blanco y contrasta con el resto que está oscurecido por la pátina del tiempo, y que en 4 ó 6 años ya no se distingue, por haber cogido aquella pátina; y ni yo mismo ni el cantero ejecutor llega a distinguirlas...

Entendemos que se trata de un grave error doctrinal, ampliamente superado desde principios de siglo XX, pero que está vigente entre algunos profesionales y que se está aplicando actualmente en este día de hoy en elementos importantes de monumentos españoles de primerísima línea (fig. 5.18).

---

77 .-Cabrera Garrido J. M.:
-«E tude Scientifique pour la Conservation du Portail de Ripoll», en ICOMOS.*Monumentum*, vol.1, pp.1.París,UNESCO 1967.
-«Últimas realizaciones en el programa para la conservación de la Portada de Ripoll».*Bulletin de l'I.R.P.A.*, vol. XV. Bruselas,1975.
-«La conservación de la piedra en nuestros monumentos», en *Boletín del ICCROM* ,nº11.Madrid,1970.
-«Alteración, conservación y restauración de materiales pétreos en los monumentos.Aspectos actuales de su estudio y tratamiento».En XXXI *Congreso Luso-Español para el Progreso de la Ciencia.*Cádiz,1974.
-«Catedral de León: Sobre algunas particularidades tecnológicas en la conservación de la escultura lítica exenta». *II Congreso del Comité Español de ICOM*,pp.157-169,1978.
-«Conservación y restauración de una escultura ibérica en piedra policromada del siglo IV a.de C. (Dama de Baza)» ,en *Congreso Internacional del ICOM-Conservación UNESCO.* Madrid,1972 .
-«Causas de alteración y métodos de conservación aplicables a los monumentos hechos en piedra», en Materiales de Construcción.C.S.I.C. Instituto Torroja,nº174.Madrid ,1979.
-«Los capiteles del Claustro de Sto Domingo de Silos.Tratamiento de conservación», en *III Congreso del Comité Español de ICOM*,pp.191-198.1980.
-«Catedral de León:conservación de la aguja de la torre del reloj »en *IV Congreso del Comité Español de ICOM,* (en prensa),1984.

78 .-Grissom C.A. y Weiss N.R.:«Alkoxysilanos in the conservation of art and architecture 1861.1981» en *Art and Archaeology technical Abstracts*,IIC,vol.18, nº1 , pp.149-200,1981.

79 .-Diario de Burgos.Domingo, 26-6-1983, p.26. Un resumen de la conferencia dictada en la Institución Fernán González por el arquitecto Marcos Rico Santamaría , el lunes 20-6-83.

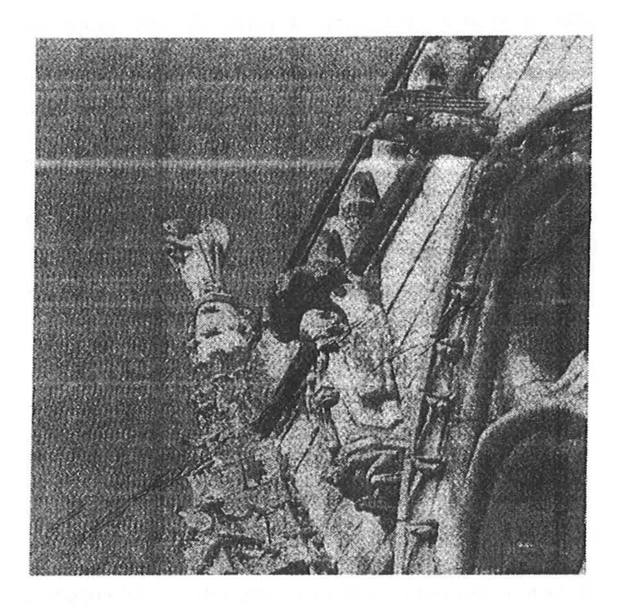


Figura 5.18 . Catedral de Burgos Completar los remates escultóri cos en distintos monu mentos históricos es una práctica que sigue en vigor. Ciertos profe sionales siguen sin aceptar que la función cultural del objeto no se puede sustituir, y actuan sobre los programas escultóricos inventando al modo de los antiguos o injertan do copias de poliéster tomadas de otros monu mentos, actitud inmadu ra de quienes preten den rehacer con sus manos aquello que les parece imperfecto o inacabado.

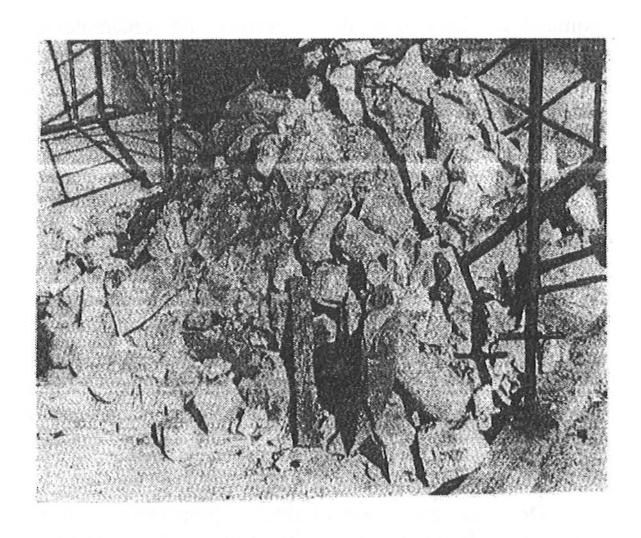
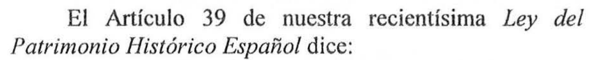


Figura 5.19. Catedral de Burgos. Aspecto del campo de trabajo durante una intervención de sustitución de elementos ornamentales deteriorados en 1980. Cuando la intervención se propone sustituir los elementos degradados por otros nuevos una de las consecuencias es la destrucción le los restos del original que, como escombro, se hará desaparecer en el vertedero, o como recuerdos irá a decorar algunos jardines privados o públicos. La conservación del original es algo a lo que la ley actualmente vigente obliga y quienes actúan de forma contraria deben ser señalados cuando, como en este caso, existe la denuncia formal presentada por el director del ICROA, aunque la realidad nos muestra que las sustituciones continuan y que lo opuesto a lo que dictamina la ley se da como norma de trabajo en discurso leído ante a academia (79)



El Artículo 39 de nuestra recientísima *Ley del Patrimonio Histórico Español* dice:

> 1. Los poderes públicos procuraran por todos los medios de la técnica la conservación, consolidación y mejora de los bienes declarados de Interés Cultural, así como de los bienes muebles incluidos en el Inventario General a que alude el artículo 35.4 de esta Ley.
> 2. Las actuaciones sobre los bienes a que se refiere el párrafo anterior irán encaminadas a su conservación y consolidación y evitarán los intentos de reconstrucción, salvo cuando se utilicen partes originales de los mismos y pueda probarse su autenticidad. Si se añadiesen materiales o partes indispensables para su estabilidad o mantenimiento las adiciones deberán ser siempre reconocibles y evitar las confusiones miméticas.
> 3. Las restauraciones de los bienes a que se refiere el presente artículo respetarán las aportaciones de todas las épocas existentes. La eliminación de alguna de ellas sólo se autorizará con carácter excepcional y siempre que los elementos que traten de suprimirse supongan una evidente degradación del bien y su eliminación fuere necesaria para permitir una mejor interpretación histórica del mismo. Las partes suprimidas quedaran debidamente documentadas.

Es evidente que la nueva legislación mantiene el espíritu del artículo 19 de la antigua Ley de 1933, mejorando lo allí expresado:

> Se proscribe todo intento de reconstitución de los monumentos, procurándose por todos los medios de la técnica su conservación y consolidación, limitándose a restaurar lo que fuere absolutamente indispensable y dejando siempre reconocibles las adiciones (fig. 5.19).

Entre las publicaciones de la época de la Ley de 1933 señalamos una que nos parece muy aclaratoria de las discusiones del momento: el discurso de ingreso en la Academia de la Historia de Modesto López Otero el 3-1-1932 y la contestación de Elías Tormo[80], en donde se puede apreciar «la superación de la vieja polémica entre conservadores y restauradores», «defensores éstos de la integridad restaurada, con sus peligros de la arbitrario y de lo falso», y manteniendo los primeros el principio de la «intangibilidad, que conduce al abandonismo y a la pérdida del monumento», aceptando la «fórmula intermedia, aunque no equidistante de conservar ante todo, y con la posible autenticidad; hacer perenne, eterna, la verdad histórica; pero admitiendo la necesaria intervención, reducida a lo preciso». Elías Tormo porfía en «el máximo respeto a lo que quedó de otras edades» y se declara «intransigente enemigo de todo parcial *pasticcio»* así como «condenador del afán de las restauraciones, que por necesidades sólo físicas de un edificio, vino la pecaminosa tentación de restaurarlo hasta en los detalles decorativos rotos, perdidos o incompletos». Modesto López Otero insiste en la necesidad del diagnóstico como «base imprescindible del método de conservación», relatando con minuciosidad las enormes posibilidades de los recursos tecnológicos y científicos para garantizar la conservación del monumento «sin tocar a su contextura aunque fuera originariamente defectuosa y sin menoscabar ni haber de completar lo decorativo», aceptando ese criterio intermedio, al que antes hemos aludido, al conciliar el triple interés de la importancia de los valores estéticos, junto al documento histórico (que pone en palabras del

[80] .-*Discursos leídos ante la Academia de la Historia* el 3-1-1932. Gráficas Faure. Madrid,1932,pp. 4-40.

arqueólogo Paul Leon) y a la necesidad de no falsificar (según dice el arquitecto Giovannoni).
También es útil traer a la memoria lo que Manuel Gómez Moreno publicaba en 1925[81] respecto al «drama ejemplar» de la historia de las restauraciones en la Catedral de León, describiendo el edificio «enmascarado por enormes restauraciones, en parte sensatas y fieles, en parte antojadizas, ya por llevar el sello de otros tiempos, ya ideadas con un criterio fantástico de restitución y embellecimiento», junto al insaciable afán de sustituciones que caracteriza las obras realizadas desde 1869, «error doctrinal, pegadizo desde Francia, al que no lograron sustraerse el talento y saber de Juan de Madrazo».

Pese al error que toda esquematización exagerada presupone, un resumen de los tres principales hechos acaecidos durante el siglo XIX y origen de los tres intereses que trata de conciliar López Otero, puede ser el siguiente: a) La introducción del concepto de unidad estilística para la restauración, que desarrolla Violet le Duc permitiéndole crear al modo de los antiguos a partir de los datos que le suministran las ruinas. b) La necesidad del dato histórico para restaurar, que actúa como freno a las fantasías compositivas de los artistas restauradores. c) El concepto de falso histórico, definido por Camilo Boito y Gustavo Giovannoni[82], frenando las reconstrucciones historicistas, con la consiguiente revalorización del original, ya que la obra sólo existe en lo que de ella subsiste. La restauración moderna nació con la Revolución Francesa al inducir un cierto derecho de crítica frente a las nuevas responsabilidades; por esto, aunque sólo hemos señalado tres hitos dentro de un proceso histórico largo y denso, se puede aplicar a la restauración lo que Leibniz decía de toda ciencia: «la serie de hechos que nos propone no nos revelan el origen de esos hechos sino la historia de nuestros descubrimientos». No se trata ya, evidentemente, de enfrentar lo histórico a lo estético, la conservación a la restauración, sino de actuar unitariamente reuniendo y confrontando los elementos de apreciación de orden estético, histórico y científico para conservar y transmitir a las generaciones futuras, con todo el valor de su autenticidad, esos monumentos incuestionables, únicos hechos innegables que guardan la verdad de nuestro pasado[83].

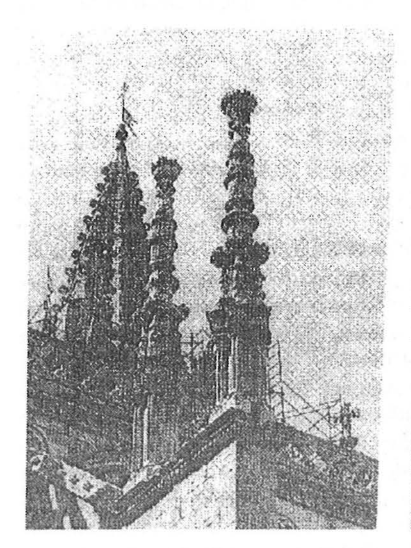
Los tratamientos sólo pueden entenderse en tanto que actuaciones integradas y críticas, únicas vías con futuro en las que se creía hace medio siglo y en las que se sigue creyendo. El principio de la conservación integrada, tras haber forzado una etapa de reflexión para sostenerse en una toma de conciencia profunda, nos conduce hacia la búsqueda de una nueva ética para la utilización más prudente y más sensata de todos los bienes patrimoniales de la humanidad, de tal forma que la conservación del patrimonio cultural se inscribe así en una corriente general de pensamiento en la que, infatigablemente, la crítica fenomenológica y el desarrollo científico permiten descubrir y utilizar facetas nuevas. Está claro que ya no nos interesa únicamente la conservación de las más importantes obras de arte y nos damos cuenta de que, incluso éstas, pierden gran parte de su sentido sin la protección de su entorno inmediato; el concepto de sitio histórico surge con enorme fuerza y se amplían igualmente nuestros horizontes cuando valoramos las estructuras, las técnicas y materiales y el carácter interno de los objetos antiguos e incluso del siglo XIX en el estudio histórico de la tecnología, y este cambio de escala ha ofrecido una perspectiva amplia y clara del complejo problema de la conservación del patrimonio histórico.

Cuando se aceptó en 1930[84] que el tratamiento de los bienes culturales comportaba al menos tres aspectos fundamentales interdependientes, se inició un camino en el que cada vez ha sido menos frecuente la consideración del problema bajo alguno de estos parámetros con exclusión de los otros y, al aceptar este principio, se modificó y se desplazó el interés primordial de la restauración hacia el de la protección y conservación. La restauración ha sido definida por Cesare Brandi[85] como «el momento metodológico de reconocimiento de la obra de arte en su consistencia física y en su doble polaridad histórica y estética, con vistas a su transmisión al futuro» y la misión del conservador, según la define la Carta de la Restauración de la Comisión Papaldo en Roma, consiste en «Salvaguardar los valores históricos auténticos de los testimonios del pasado», definiciones que expresan la esencia de esta función. Para conservar la auténtica dimensión cultural de una obra, monumento o conjunto, se ha de mantener dentro de un equilibrio de factores cuya resultante no es la renovación ni el cambio, sino la permanencia y la estabilidad. No se trata de volver atrás en la búsqueda de un estado original, ciertamente irrecuperable, sino más bien la de buscar mediante una investigación crítica extraordinariamente sensible el equilibrio actualmente realizable que más fielmente respete los principios que inspiraban esta unidad original perturbada[86]. Nuestra intervención se ha de traducir en un acto de interpretación crítica destinado a restablecer una continuidad formal interrumpida, en la medida en que ésta aún exista actual o potencialmente, intervención que se ha de realizar, insistimos, como hipótesis crítica, siempre modificable, que pueda ser reemplazada por otra actuación más certera si el momento llegara a presentarse[87]. Barajando por última vez las palabras de siempre, entenderíamos los tratamientos como de restauración de las condiciones de conservación perdidas, situándolos respetuosamente entre el bipolo que definen las exigencias históricas y estéticas. Restaurar no es, evidentemente, ni sanar sólo la materia, ni dejar las cosas como nuevas, ni presentar un original fragmentado e incompleto sin el menor intento de búsqueda de su unidad perdida; en cada caso existe una amplia gama de posibilidades de intervención y la toma de conciencia de los muchos grados de libertad en la elección de lo que debe hacerse da la

[81].-Gómez Moreno M.: *Catálogo Monumental de España «provincia de León»* 1907-1908, vol.I, pp. 222-224. Madrid 1925.
[82] .-Ceschi C.: *Teoria e storia del Restauro.* Ed. Mario Bulzoni, pp.107-114. Roma ,1970.
[83] .-Plenderleith H.J.: «The examination and preservation of painting: A digest», en The Museum Journal, t.XXXII, pp. 308-396, 1932-33. Recoge un amplio resumen de los puntos de vista fundamentales intercambiados en la Conferencia de Roam de 1930 del Office International des Musées, primer paso a escala internacional en la conservación del patrimonio cultural.
[84] .-Ceschi C.: Op. Cit. Reproduce la «Carta de Atenas de 1931», que nació en 1931 con el convencimiento « de que la conservación del patrimonio artístico y arqueológico de la humanidad interesa a todos los Estados tutores de la civilización ». No debe confundirse con la Carta de Atenas de 1933 de Arquitectura Moderna ni a los comentarios que hiciera Le Corbusier, al capítulo VII de Monumentos.
[85] .-Brandi C.: *Teoria del Restauro,* Ed. di Storia e Letteratura. Roma., 1963.
[86] .-Philippot A. y P.: En *Bulletin de l'I.R.P.A.*, vol..II, p.5, 1959 y vol. IX, p.140, 1966.Bruselas.
[87] .-Sneyers R.: «Suplemento»al *Bulletin de l'I.R.P.A.*, vol.XVI. Bruselas, 1976

la conservación y restauración ha evolucionado desde el arte y los oficios hacia la ciencia y que actualmente se parece más a la medicina que a la fontanería, sin sentir sonrojo cuando se califica de ortopedia remendona, sino más bien orgullo de labor científicamente bien realizada. Por esto, más allá de cualquier teoría ,lo riguroso hoy en materia de conservación y restauración se trata, en primer lugar, de asegurar la protección y, a continuación, presentar la obra dentro del respeto al valor documental y artístico que le sea propio, con lo que se puede afirmar que[1] conservación y restauración no son entidades opuestas sino complementarias y requieren una misma actitud por parte de los especialistas (fig. 5.20 y 5.21).

En muchísimas ocasiones, la formula del éxito ha podido resumirse en dos actitudes naturales, definibles por «respeto» y «amor», respeto que viene de *respicere* = conocer, tomar conciencia de la individualidad única del monumento, y amor en ese concepto de Hegel de «afianzar al otro en otro», ayudarles a ser lo que son y no lo que nos gustaría que fueran.[2]



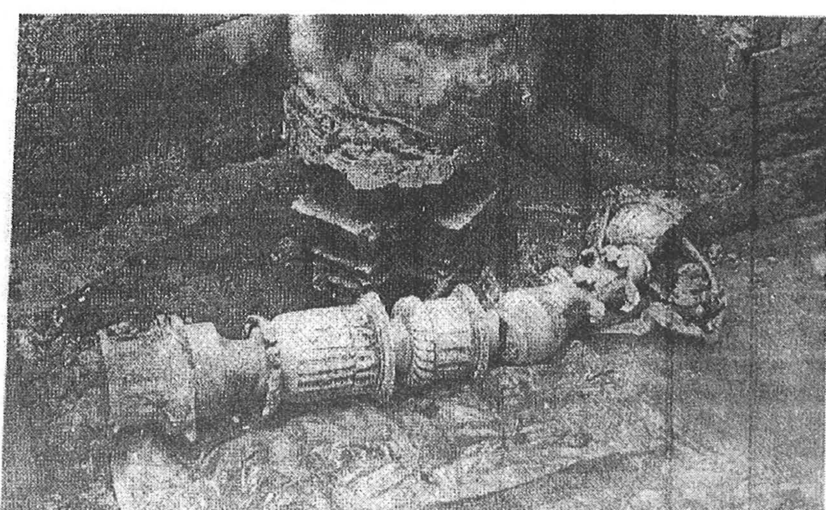


Figura 5.2O. y 5.21. Catedral de León Pináculos del costado norte antes y después de la intervención de 1983.La oxidación de los vástagos de hierro y de las grapas que unen casi todos los elementos de piedra , producen el esta llamiento de esta. Frente a quienes proponen sustituir estos elemen tos por otros nuevos ,hemos intervenido reparándolos cuidosamente, in sertando varillas de acero inoxidable en lugar del hierro oxidado y pegando los fragmen tos con resinas epoxídicas. Con igual criterio se ha actuado en la aguja de la Torre del Reloj y en los demás ornamentos de piedra de toda ella, lo que consti tuye ya un documento elocuente

[1] .-Coremans P.:«La conservation des Monuments historiques et ses perspectives d'avenir», en *Bulletin de l'I.R.P.A.*, vol. III, p.112. Bruselas, 1960.

[2] .-Cabrera J.M. : «Conservación y restauración en 50 años de protección del P.A.»Ministerio de Cultura, pp. 45-53. Madrid,1983.

REINTERPRETACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO

1. Introducción

Sobre la superficie de las piedras de los Monumentos se aprecian normalmente una serie de modificaciones, degradativas o no, que son el resultado de una combinación sutil de numerosos elementos, tales como: los materiales y técnicas empleados en la construcción, condiciones climáticas locales, forma y grados de la contaminación atmosférica, tipos de pinturas utilizados, restauraciones anteriores,etc... y así es como se ha ido creando una superficie de la piedra muy valorada por las modificaciones introducidas en el curso de los años y que, ennoblece en muchos casos los testimonios construídos de nuestra historia, según la normal apreciación de las personas cultas de casi todos los tiempos.

Las intervenciones sobre la piedra comportan dos campos de acción principales, el de la limpieza y el de la reparación, consolidación y protección del material de cara a su mejor conservación futura. Aunque esta distinción es un tanto arbitrada y, en la mayor parte de los casos, la limpieza no es más que uno de los aspectos del trabajo de conservación, nos valdremos de ella para estructurar más cómodamente el contenido de esta Ponencia.

Limpiar las fachadas de los Monumentos no es, en absoluto, una cuestión difícil sino más bien una tarea técnicamente fácil de realizar, pero constituye incuestionablemente un asunto de gran complejidad el determinar lo que mejor conviene hacer en unas superficies que concentran lo más importante del significado histórico-artístico y ante una operación que es siempre irreversible. Nadie pone en duda hoy la necesidad de limpiar los Monumentos, pero unos imaginan que si se retira todo lo que hay sobre la piedra se recupera el estado primitivo de forma automática y sin hacerles daño, mientras que otros nos hacen ver unas superficies manufacturadas con estucos y pinturas, muy sensibles a las intervenciones renovadoras. Las divergencias no se manifiestan en modo alguno sobre el principio, sino sobre la aplicación, y por eso resulta importante la metodología con que se enfrente el problema de la conservación de la piedra en los Monumentos.

Desde mediados del siglo XVIII, empezó a desaparecer el gusto por la policromía en la Arquitectura y se desarrolló un interés creciente por los materiales desnudos en un "regreso hacia lo auténtico", cambio radical de moda que junto con los avances tecnológicos y la producción de materiales nuevos, generó una evolución en las formas de producir la Arquitectura. En su influencia sobre la Restauración, los mismos hechos condenaron a desaparecer todo lo que tape la piedra.

Conviene pues recordar como en el pasado se picaron las fachadas de piedra para eliminar los "embadumamientos", término con el que importantes restauradores definían los recubrimientos con pinturas y dorados sobre las fachadas Monumentales y que sin duda cumplieron una excelente función protectora de la piedra subyacente. De nuestra memoria tampoco puede desaparecer la nefasta campaña del quinquenio 1959-1964 promovida por André Malraux que dejó la piedra desnuda en los Monumentos de París y suprimió las epidermis de yeso en más de setenta mil fachadas del casco histórico reemplazándolas por recubrimientos plásticos. Y ver lo que actualmente ocurre en Berlín, sobre el color gris de los años 1880 en su sector Oriental, identificado actualmente con el color del comunismo y que está siendo reemplazado por la luminosidad policrómata de los pigmentos de Titanio, fruto del higienismo de la modernidad. Y lo que se inicia en Roma, que ya ha limpiado a fondo las fachadas de los templos de cara al jubileo del año 2000 y marcha a fondo y rápidamente sobre los edificios civiles, con el Museo de Arte Antiguo a la cabeza de la operación sobre el centro histórico, en una apropiación del objeto arquitectónico del pasado para adaptarlo a lo que se le quiere hacer decir dentro de un tiempo de prioritaria valoración política.

2. Consolidación y protección

Para consolidar y proteger la superficie de las rocas alteradas en los Monumentos, se ha intentado la aplicación de productos orgánicos e inorgánicos, pero los resultados conseguidos son, por lo general, poco satisfactorios. Aplicados en exteriores, estos tratamientos desilusionan muchas veces porque sus efectos no son generalmente muy duraderos, ya sea por la insuficiente penetración del producto en el material poroso, o debido a las características físicas de las películas formadas y la naturaleza misma de las sustancias empleadas.

La protección de las superficies de piedra se ha intentado por impregnación mediante disoluciones reales o coloidales de compuestos de calcio, bario y estroncio, aceites secantes, resinas naturales, caseina, albuminas, sólos o mezclados con alumbre, ceras, estearatos de aluminio y zinc, silicatos alcalinos, esteres silícicos, fluoruros, fluosilicatos, siliconas, parafinas, polímeros sintéticos de tipo vinílico, acrilíco, epoxídico, de poliéster, principalmente. Una vez dentro del material poroso, las soluciones deben reaccionar con los componentes aplicados en segundo lugar o perder por evaporación el disolvente, con lo que las soluciones reales tienden a depositarse en el frente de evaporación y las dispersiones coloidales a romperse inmediatamente después de que la fase sólida se ponga en contacto con las paredes de los poros o con los electrolitos presentes capaces de provocar la floculación. En ambos casos lo que se logra es la deposición en la superficie del material pétreo poroso, lo que resulta normalmente poco útil o perjudicial pues atrae el polvo y la suciedad, dificultando la evaporación de la humedad y favoreciendo la formación de estalladuras y costras, por acumulación de las sales disueltas en los pocos sitios en donde el agua puede aún evaporarse; cuando las películas formadas son permeables, favorecen la acumulación de las sales y no suministran protección contra los gases de la con taminación atmosférica, agentes microbiológicos, y otros.

2.1. Compuestos de calcio, bario, estroncio, aluminio y zinc

La aplicación de "lechada de cal", o de "agua de cal" obtenida la primera por saturación de cal apagada en 7 volumenes de agua y, en la segunda por enriquecimiento

con anhídrido carbónico del bicarbonato cálcico disuelto para alcanzar una concentración de 1100 mg/ltr, está en el origen de una serie de formulaciones conseguidas por adición de sangre de toro, huevo, caseina, aceite y otros productos naturales como el alumbre y el borax, aditivos que mejoran considerable mente las características de la cal formando ventajosos compuestos intermedios a base de caseinato cálcico, jabones metálicos, etc... que continúan siendo de uso normal en las tareas de restauración de nuestro tiempo.

El empleo de los hidróxidos de bario y de estroncio, próximos por su naturaleza alcalinoterrea a la cal, se describe en una serie de patentes inglesas concedidas en el Siglo XIX, como por ejemplo la N^0. 2267 del 27 de septiembre de 1856 para el tratamiento de la piedra formulado por F. Ransome ,impregnando consecutivamente con hidróxido de bario y con sulfato de aluminio con el fin de precipitar "alúmina de barita". El concepto de precipitación de sales insolubles de bario a partir de soluciones homogéneas, ha sido aplicado por Lewin en 1965 para formar carbonato de bario en el interior de la piedra impregnando con una disolución formada por 10 partes de hidróxido de bario, 5 partes de urea, 15 partes de glicerina y 55 partes de agua; Sayre, en 1970, precipitaba directamente el sulfato de bario o de estroncio por hidrólisis lenta de los monoesteres como el etilsulfato de bario o de estroncio, que por ser solubles en agua, se hidrolizan de la misma manera que cualquier ester para formar alcohol etílico y ácido sulfúrico o iones sulfato según el pH de la disolución, por lo que al estar presente los iones de bario o de estroncio precipitan los sulfatos que son muy insolubles; el control del mecanismo de esta lenta reacción de hidrólisis, que se produce con cualquier pH a temperatura elevada, se conduce empleando como catalizador cualquier ácido o base debiendo siempre existir un exceso de hidróxido de bario o de estroncio suficiente para neutralizar los iones sulfato producidos durante la hidrólisis.

La importancia de los jabones metálicos, como los estearatos de aluminio o de zinc, para la consolidación y protección de la piedra, derivan de las experiencias efectuadas por Sylvester en el Parlamento de Londres, aplicando primero una disolución de jabón y seguidamente otra de alumbre, procedimiento descrito en 1861 y que por el gran éxito alcanzado fue recogido ampliamente en los recetarios bajo el nombre de "testalina".

2.2. Silicatos alcalinos, esteres silícicos y fluosilicatos

La Patente Inglesa N^0 320 del 10 de febrero de 1855 refiere a Federico Kuhlmann como inventor del procedimiento de restauración para Monumentos y esculturas de piedra, consistente en la aplicación de capas sucesivas de una disolución de silicato de sodio o de potasio; el 23 de abril de ese mismo año de *1855,* Kuhlmann solicita en España (N^0 1283) "Procedimiento para la aplicación de los silicatos, para el estuco, pintura, impresión y para el aderezo", afectada al Grupo C09 de la Clasificación Internacional de Patentes. En el año 1857 se aplicaron en la abadía de Westminster, y en las catedrales españolas de Cádiz y Burgos. Investigadores franceses del CNRS han informado de su aplicación, en 1853, a las catedrales de Chartres y París.

En 1861 el Profesor von Hofmann propone el empleo de "eter silícico" para frenar el deterioro de la piedra con "sílice de cuarzo" combinada con "espíritu de vino" formando "eter silícico" que expuesto a la atmósfera deja libre el espíritu del vino depositando cuarzo hidratado. En ese mismo año se suceden las pro- puestas técnicas formuladas por 1) Sir William Crookes con el empleo del fluosilicato de aluminio, 2) Jesse Rust con la aplicación sucesiva de ácido fluosilícico y agua de barita, 3) la técnica de Ransome con la aplicación sucesiva de silicato de sodio y de cloruro cálcico para precipitar silicato cálcico en la piedra, o 4) la técnica de Szerelmey consistente en aplicar tres capas de silicato sódico seguidas de una final de barniz bituminoso, entre otras muchas que originaron multitud de Patentes.

Los silicatos alcalinos que están comercialmente disponibles como líquidos, se consideran soles del ácido silícico estabilizados con hidróxidos alcalinos. Expuestas al aire, estas dispersiones coloidales absorben el CO^2 que carbonata a los estabilizadores alcalinos y el ácido silícico precipita como un gel transparente y blanco.La deposición se produce inicialmente en la superficie del material tratado, con lo que se limita la penetración del gas a través del gel de sílice formado y no se logra una deposición completa por lo que, para mejorarla, se efectúa un tratamiento posterior con soluciones de cromatos alcalinos, pirofosfatos alcalinos o sales de ácido fosfórico, tungsténico o piroantimónico, etc..., actuando también estos tres últimos para precipitar los iones alcalinos. Como las soluciones de silicatos alcalinos no mojan bien a los materiales pétreos, se suelen adicionar con glicerina, aceites sulfonados, etc... A pesar de todo, los silicatos alcalinos ofrecen bastantes dudas por la importante producción de sales solubles y la formación de capas de consolidación de baja elasticidad.

Los esteres silícicos, de los cuales es el llamado silicato de etilo el que se ha estudiado con más atención, están considerados por King (1936) como una solución orgánica de sílice coloidal y silicato de etilo que seca con rapidez en dos etapas distintas: se inicia con la gelatinización que se produce a causa de la evaporación, del disolvente y continua con un fenómeno de endurecimiento que es el resultado de una reacción entre el ester y la humedad del aire que hidroliza el compuesto proporcionando alcohol y ácido silícico que, finalmente, se deshidrata dando sílice.

El ester silícico más corrientemente usado para la preservación de las piedras en los Monumentos es el silicato de etilo que, impregna bien y se hidroliza pronto, ya que con frecuencia las firmas comerciales presentan el producto parcialmente hidrolizado con ciclohexanona, glicol o tetralina a fin de que la precipitación con la humedad sea más rápida y el ácido silícico adhiera bien sobre las superficies impregnadas. La adición de siliconas de pequeño tamaño de molécula, como el metiletoxisiloxano en la proporción 1 : 1 y diluyendo con etanol, hace que éste también se hidrolice dando ácido metilsilícico que, aparte de contribuir a la estabilización, también hidrofuga las piedras. Se han hecho muchos esfuerzos para perfeccionar un método de consolidación de la piedra con soluciones organosilícicas, pero es necesario aceptar las importantes limitaciones que presentan ante fenómenos de cristalización de sales y otros, así como los referentes a que el personal debe evitar toda exposición innecesaria o prolongada a los vapores de estas soluciones, conviniendo advertir que en general son inflamables. El costo elevado se sitúa como uno de los inconvenientes,

dado que la aplicación debe realizarse hasta saturación del material poroso y esto puede elevar el consumo de producto hasta unos 5 litros por m^2 dependiendo de la porosidad del material, lo que puede producir un costo de unas veinte mil pesetas por m^2. Aunque vienen siendo presentadas como "curalotodo" por numerosos científicos y laboratorios inexpertos en los problemas de Restauración que se limitan a reproducir en Memorias de Investigación y comerciales los mismos datos y experiencias copiados de autores extranjeros de hace varias décadas, se deben tratar como un recurso más entre los utilizables por el restaurador de acuerdo con las exigencias que cada caso plantee.

El ácido fluosilícico es un ácido fuerte capaz de dar, en contacto con las calizas. una costra de fluoruro cálcico y, debido a que la reacción es enérgica, lo productos tienden a cristalizar y se pierde en gran parte su función de adhesivo. Los productos disponibles comercialmente están parcialmente descompuestos en fluoruro silícico y ácido fluorhídrico, siendo siempre la relación F: Si mayor de 6. por lo que el ácido fluorhídrico produce la decoloración de compuestos de hierro, disuelve lentamente los granos de arena y forma una corteza dura y densa, de gran fragilidad, que puede descamarse por la acción de las sales producidas por los productos que quedan dentro después del tratamiento.

Los fluosilicatos proporcionan mejores resultados y muchas de estas sales están disponibles comercialmente como soluciones, siendo importantes los de aluminio para neutralizar los enyesados frescos, el de magnesio para endurecer los enyesados antiguos y las calizas, el de plomo para proteger la superficie tratada contra la suciedad atmosférica, el agua del mar y el humus, el de zinc es el más efectivo para endurecer el hormigón de cemento. Los de aluminio y plomo, debido a su conside- rable acidez, causan efervescencia en las calizas, pero las soluciones con varios fluosilicatos pueden ser muy útiles para controlar especialmente sus propiedades de tal forma que, aplicados con brocha dos veces al 10%, seguido de tres aplicaciones al 20% con ocho días de intervalo entre cada aplicación, puede producir resultados satisfactorios, pero siendo activos sobre materiales calcáreos, la efervescencia del CO_2 hace que los productos depositados sean esponjosos y, por la tendencia a cristalizar del fluoruro cálcico, se debilita la coherencia de la piedra en vez de fortalecerla. Por esto, el endurecimiento inicial de la caliza tratada debe considerarse con reservas ya que en muchos casos se ha visto que la alteración continúa por debajo de la costra dura. En el caso de areniscas, se deben impregnar primero con silicatos alcalinos y luego aplicar fluosilicatos, lo que aumenta el riesgo de sales solubles. El tratamiento recomiendan que se repita cada ocho años. El uso del ácido fluosilícico y de los fluosilicatos no es muy popular actualmente debido a que no se logran penetraciones adecuadas, originan capas de consolidación frágiles y generan depósitos salitrosos subyacentes.

2. 3. Plásticos

La ingeniería química ha logrado colocar en el mundo de la restauración arquitectónica, a través de sus industrias de obtención y de transformación, una amplia serie de materias primas y de productos a base de diferentes compuestos orgánicos, comúnmente conocidos por el nombre genérico de "plásticos", ó mas técnicamente por "resinas sintéticas", que han ido sustituyendo a los materiales naturales en la mayor parte de sus diferentes usos. La industria de la pintura y barnices, al estudiar y desarrollar el conocimiento y empleo de los polímeros naturales, produjo de forma consecuente la formulación de los productos de síntesis de mejor resistencia química y mecánica, cuyo nacimiento puede situarse en 1855 con la patente del celuloide formulada por el químico inglés Alejandro Parques, producto que aún continua siendo utilizado.

Muestras de calizas y areniscas han sido tratadas con disoluciones de polimetacrilato de metilo al 1% en tricloroetileno, con poliester al 5% en benceno, con policloruro de vinilo al 2% en *white spirit,* con copolímeros de estireno-butadieno al 5% en xileno, con caucho-neopreno al 0'5% en benceno, con monómeros de poliesteres estructurales, resinas epóxicas, entre otros.

En todos los casos se ha demostrado que se reduce la porosidad de la capa superficial, lo que aumenta su estabilidad frente a los agentes externos de corrosión de la piedra, pero como la deterioración de este material se debe principalmente a la humedad y a las sales internas, con el tiempo se suelen producir intensas alteraciones.

En las fisuras y juntas entre sillares también se han aplicado disoluciones espesas de resinas vinílicas, como el Mowilith-50 (de fabricación Hoeschst, un poliacetato de vinilo), o morteros de cal con aditivos al 10% aproximadamente, como el poliacetato de vinilo, o polimetilmetacrilato, ambos en emulsión, y también abietato sódico al 0'2-0'3%, lo que aumenta la impermeabilidad y mejora las características de la mezcla ante fenómenos de retracción, reemplazando con excelente fiabilidad las prestaciones alcanzadas tradicionalmente por adición de sustancias proteicas como la leche y la sangre.

2. 3. 1. Siliconas

Los materiales resinosos del silicio que se popularizaron hacia 1940 por los trabajos que desde principios de siglo venían realizando Kipping y su escuela, son los productos de la hidrólisis de los cloruros alquílico y arílico de silicio, que recibieron la denominación vulgar de "siliconas" por la similitud de su fórmula elemental con la de las acetonas orgánicas. Su existencia nace en los descubrimientos de Bercelius en 1823 sobre la química del Silicio y en los avances conseguidos por Moissan en 1853 que alcanzaron un importante desarrollo. En 1860, Friedel, Crafts y Ladenburg avanzan de forma significativa las experimen-taciones y, la fabricación industrial recibió un impulso definitivo con el descubrimiento de Rockow y Müller para su obtención por el método directo a partir de silanos, mucho más fácil y económico. En la primavera de 1945 un ingeniero americano presentó de manera original las siliconas ante una conferencia de prensa, sacando de un cubo de agua unos cigarrillos que, al haber sido impregnados con siliconas, no se mojaron y ardían por tanto perfectamente bien, con lo que el mundo se enteró del nacimiento, en el plano industrial de una extensa familia de sustancias con representantes de las más variadas propiedades.

El curso de la resinificación o polimerización, como resultado de la hidrólisis, consiste en primer lugar en la producción de hidroxicompuestos que, a continuación, se condensan juntos para dar polímeros de mayor peso molecular, los cuales están caracterizados por la formación de la cadena Si-O-Si-O, con grupos metilo o similares

unidos al átomo de silicio.

Se emplean normalmente dos tipos de siliconas; las más corrientes son resinas silicona con grupos de hidroxilo y alkoxilo que se aplican sobre las piedras en forma de disoluciones con disolventes orgánicos y el segundo tipo son soluciones en agua de siliconato sódico. Las primeras actúan por hidrólisis atmosférica del grupo reactivo y condensación de algunos de los productos intermedios de la reacción, con lo que la resma reacciona entonces, bien sea con los grupos de hidroxilo o con el agua absorbida sobre la superficie mineral, conduciendo a una unión de valencia primaria entre la resma y el material. En las disoluciones acuosas de siliconato sódico, la hidrólisis de esta sal provoca una ligazón entre el siliconato y la superficie mineral y, por evaporación, se forma siempre una película que repele el agua. De esta forma, el siliconato sódico hace impermeables las calizas y el mármol, mientras que las resinas siliconas dan poco resultado en estos materiales, aunque esto puede evitarse impregnandolas previamente con fluosilicatos, silicatos alcalinos y esteres silícicos; esto es posible porque las siliconas reaccionan con los átomos de silicio químicamente, pero en los materiales carentes de silicatos sólo se logra una absorción física.

Una disolución al 4% en agua de metilsiliconato sódico hace a las calizas hidrófobas y, para areniscas, también se consiguen buenos resultados con disoluciones al 3%. Como las siliconas son muy sensibles al agua con reacción alcalina, se deberán tomar precauciones especiales en estos casos, y también es preciso controlar la penetración alcanzada pues, en los materiales calientes por el Sol, se produce una evaporación rápida del disolvente de las siliconas lo que hace que disminuya la penetración, aunque en paredes de ladrillo calientes se han medido penetraciones de 5 a 10 milímetros.

Teniendo en cuenta el carácter de inercia química de las siliconas absorbidas por un material pétreo, la hidrofobicidad que le suministran puede durar bastante aunque ésta depende de la alcalinidad del medio y de la contaminación de la atmósfera local; en paredes de edificios expuestas al mar, pierde su eficacia en unos dos años, mientras que en los paramentos protegidos de la acción directa pueden seguir siendo eficaces diez años después aproximadamente.

La permeabilidad de las películas de siliconas al vapor de agua, se considera una ventaja adicional porque reduce el contenido de agua en el material por impedir el acceso del agua líquida y permitir la evaporación del agua ya presente en el interior, pero también generan efectos no deseados por la aparición de manchas debidas a la cristalización de las sales por detrás de la superficie tratada y posterior decamación de la misma ante los procesos de cristalización-eflorescencia regulados por los cambios de la Hr del aire; tampoco ha aparecido la protección que se esperaba frente al hielo y la contaminación atmosférica.

Las calizas tratadas con siliconato sódico permanecen largo tiempo limpias, en comparación con las calizas no tratadas, pero esto tiene poca importancia frente al factor negativo del contenido alcalino del siliconato, que produce mayor erosión debido a las sales que genera.

La polimerización de las resinas siliconas, por ligazón entre grupos hidroxilos libres produciendo enlaces cruzados con puentes de oxígeno, puede inducirse por aumento de la temperatura y por la acción de catalizadores tales como el naftenato de zinc ó la trietanolamina. Cuando se une al silicio un grupo etilo, en lugar de un metilo, en la cadena de siloxano, se obtiene un producto mas blando, más soluble y de endurecimiento más lento; la sustitución de un grupo fenilo por un metilo conduce a resinas quebradizas y frágiles; por enlace de ambos grupos, alkilo y fenilo, al mismo átomo de silicio, o por condensación de alkil y fenil siliconas para hacer un copolímero, se han conseguido resinas con ventajosas propiedades intermedias. La viscosidad con que pueden obtenerse va desde 0' 65 centistoke a 1.000.000 cs.

De las experiencias de control efectuadas sobre probetas de piedra tratadas con distintos productos comerciales, a base únicamente de resinas siliconas disueltas en disolventes orgánicos y prescindiendo de los siliconatos, se ha podido comprobar que, por su débil tensión superficial, mojan bien.la superficie del material y penetran más o menos profundamente de acuerdo con la viscosidad de cada producto, tapizando las paredes de los poros con una película permeable a los gases y vapores pero impermeable al agua líquida. El estudio de los productos suministrados por distintas firmas indican que, todos ellos pertenecen al grupo de las Metilsiliconas, pero se observa que calentándolos 24 horas a 500 C y después 4 horas a 1000 C, unas resinas continuan siendo viscosas mientras que otras endurecen en masa homogénea y, otras aún endurecen y se fragmentan en gránulos pseudo-cristalinos, por lo que la eficacia del producto es diferente en cada caso. La experiencia demuestra que, aunque estas diferentes resinas han dado buenos resultados después de cuatro años de exposición, a un plazo más largo, la eficacia está condicionada por la naturaleza de la piedra y el tipo de resma empleada.

Si a determinadas siliconas, no totalmente equili bradas, se les somete a un proceso de vulcanización a base de un catalizador y casi siempre calor, se obtiene un elastómero, caucho de siliconas muy utilizado en restauración como masilla que une bien y rellena juntas con facilidad, pudiendo utilizarse como base de obtención de moldes para hacer reproducciones de objetos.

2.3. 2. Resinas de poliéster

Se da este nombre a un grupo muy complejo de resinas de propiedades y aplicaciones diversas, que se caracterizan por tener en su molécula grupos éster.

Se denominan alquídicas, gliceroftálicas o gliptales, y vienen siendo preparadas industrialmente desde 1929 como resultado de la reacción entre el anhídrido ftálico y la glicerina. Al reaccionar en caliente estos dos productos, se forman cadenas lineales termoplásticas que luego reaccionan entre sí dando moléculas tridimensionales muy estables, infusibles e insolubles. Los gliptales preparados de esta manera se modifican por adición de diferentes ácidos grasos como los procedentes de aceites secantes o no secantes (linaza, ricino, madera, ongokea, aceite sulfurado, etc.), ceras (de abejas, de Montana, de camauba o spermaceti, etc..), resinas naturales o las sintéticas (urea-formaldehido, fenol-formaldehido o compuestos vinílicos con el acetato, propionato o butirato de polivinilo, etc...) pudiendo así obtenerse multitud de productos de propiedades muy diversas.

Hacia 1950 alcanzaron gran importancia técnica los llamados "plásticos reforzados" formados a partir de gliptales modificados

con resinas vinílicas, lográndose así una amplísima gama de productos flexibles o rígidos, duros o blandos, etc... Como se ha dicho, el polímero de poliéster es de cadena lineal larga con dobles enlaces y es termoplástico, pero mediante la adición de un monómero vinílico se logra que, durante la polimerización se produzcan entrecruzamientos de las molécu las, obteniéndose así una macromolécula tridimensional y, por tanto, termoestable.

Estas mezclas se polimerizan bajo la acción de ciertos catalizadores y hay varios métodos para polimerizar compuestos olefínicos. El más empleado es por polimerización de radicales en cadena con peróxidos como iniciadores, debiéndose calentar la mezcla para formar una cantidad suficiente de radicales por disociación de los peróxidos como, por ejemplo, el peróxido de isubutilo o el diisopropilperoxidicarbonato, que pueden resultar explosivos y son de difícil manejo. Para acelerar la polimerización a la temperatura ambiente se añaden "activadores" que provocan la disociación de los "iniciadores" de peróxido y para esto sirven numerosas sustancias: para los peróxidos de acilo como el peróxido de benzoilo se emplean aminas terciarias como la butilamina, y para los hidroperóxidos como el de metiletilcetona se emplean los organometálicos como el octoato o el naftenato de cobalto. De esta manera, el complejo iniciador-activador escita los dobles enlaces e induce la polimerización tridimensional con lo que la resina siruposa se espesa notablemente hasta gelificar y, a partir de ese momento, debido al carácter exotérmico de la reacción, aumenta notablemente la temperatura de la masa que se endurece rápidamente. De todos modos debe evitarse un endurecimiento demasiado rápido ya que favorece la aparición de tensiones en la masa que empeoran las características mecánicas del producto final.

2. 3. 3. Resinas etoxilénicas

Caracterizadas por moléculas lineales con grupos terminales epoxi de gran reactividad, son sustancias que aparecen hacia 1950 como producto de la reacción entre un difenol y la epiclorhidrina por lo que, variando la proporción de estas dos, pueden obtenerse una amplia gama de productos, desde resinas líquidas a temperatura ambiente hasta otras de punto de fusión superior a 2000 C. El carácter termoplástico derivado de su estructura lineal, puede modificarse bajo la acción de ciertos "catalizadores" de tipo amina (como el diaminopropano, etc.), produciéndose así una reacción con los grupos epoxi que conduce a la formación de moléculas tridimien- sionales de una estabilidad muy elevada. Por tener en su molécula sólo uniones entre carbono y uniones tipo eter, presentan una notable estabilidad frente a los agentes químicos, sobre todo los alcalis. Pese a su dureza, son algo elásticas por lo que presentan interesantes propiedades mecánicas; además, debido a su estructura, poseen una notable adhesión sobre muchos materiales, lo que permite preparar adhesivos de características extraordinarias. Como por ejemplo uniones entre metales más resistentes que una soldadura.

Para la consolidación de los materiales pétreos se han utilizado también resinas epóxicas, habiéndose recomendado que el tratamiento se inicie impregnando el material con acetona y luego, aplicar acetona-resina-endurecedor, aumentando la concentración de resma paulatinamente la cual, por su presión parcial de difusión, desplaza a la acetona al cabo de unos días. Dada la alta viscosidad de las resinas epóxicas, de 10.000 a 16.000 cp., para productos corrientes, se precisa normalmente la adición de diluyentes reactivos (por ejemplo el diglicidil eter, butadieno dióxido, vinilciclohexano dióxido, etc...) los cuales, conteniendo dos grupos epoxi activos en una molécula relativamente pequeña, tienen una viscosidad muy baja de unos 10 cp., y pueden polinierizar con los reactivos normales.

Pero los mejores resultados se han obtenido añadiendo a la mezcla epoxiendurecedor una proporción de hasta el 50% de silicato de etilo, con lo que la viscosidad baja hasta casi 1 cp., comparable a la del tolueno puro, aunque no está totalmente aclarado si es que se produce una hidrólisis del ester silícico o se produce alguna reacción con los grupos hidroxilo ce la resma epóxica. También se puede añadir a la resma epóxica el metiltrimetoxi-silano, en sustitución del silicato de etilo, con lo que se consiguen magníficos resultados frente al agua en las piedras tratadas.

2.3. 4. Resinas acrílicas

Las investigaciones de índole industrial acerca de las posibilidades técnicas del ácido acrílico, habían comenzado antes de la 1 guerra mundial, y más tarde se estudiaron los compuestos metacrílicos, que condujeron finalmente a la obtención del "plexiglas" a través de un camino extraordinariamente difícil, partiendo del carbón y de la cal como materias primas.

En piedras calizas y areniscas, se han comunicado resultados buenos al impregnarlas con soluciones al 5% en tolueno de los acrilatos Paraloid B-72 (de fabricación Róhm&Haas, mezcla de dimetilacrilato y etilmetacrilato) y Bedacryl 122X (de fabricación Imperial Chemical Industries, un ester polimetacrílico parcialmente polimerizado, al 40% en xileno), añadiendo a estos compuestos, a veces, una pequeña cantidad de silicona o de ceras microcristalinas según que se desee aumentar la permeabi lidad o la impermeabilidad de la superficie tratada.

Como las moléculas de polímeros sintéticos son generalmente muy grandes, se deben evitar las dispersiones colidales, empleando mayormente las disoluciones diluidas pero, por regla general, la evaporación del disolvente tiende a depositar el polímero desde el frente de evaporación hacia el interior, lo que favorece la forma- ción de películas superficiales. Al estudiar los mecanismos de acumulación de las resinas en las superficies de evaporación, en función de las variables relacionadas con: los diferentes tipos de plásticos, concentración de las disoluciones, volatilidad de los disolventes y diluyentes, tiempo y temperatura de secado, principalmente, se ha podido comprobar que disoluciones de polimetacrilato en una docena de disolventes cuya volatilidad varía entre 2' 1 y 163 respecto al eter etílico, produce tina migración similar excepto para el *white spirit* que produce deposiciones uniformes en toda la muestra para temperaturas comprendidas entre 20 y 1000 C. también se ha visto que al disminuir la velocidad de evaporación por medios externos, mejora la distribución de la resma en la muestra impregnada, y que la concentración de la resma en la disolución influye en el fenómeno de migración pues, al 5% el corazón de la muestra no queda consolidado pero sí lo está a partir del 10%.

Para la consolidación de calizas y areniscas con disoluciones de resinas acrílicas se aprecia que la mayor importancia debe darse a las condiciones de

impregnación profunda, disolvente verdadero en la menor proporción posible con la mayor cantidad de diluyente *white spirit*, concentración de resina al 10% y secado tan lento como sea posible.

2.3. 5. Impregnación con monómeros

La impregnación con monómeros que después polime rizan en el interior de los poros de la piedra, tiene grandes ventajas. Los monómeros acrílicos, debido a su baja viscosidad de unos 0'6 centipoises, penetran profundamente y allí endurecen sin peligro de que se acumulen en lugares no deseados, como sucede con los procesos de evaporación de las disoluciones o emulsiones acuosas de los polímeros. Para los monómeros acrílicos de metilmetacrilato con iniciadores de peróxido de benzoilo al 2% y activadores de disociación de dimetilparatoluidina al 0'6%, la viscosidad empieza a aumentar a las dos horas, por lo que antes se impregna la piedra y luego se reduce la acción del oxígeno (que puede llegar a impedir el endurecimiento), cubriendo la superficie con un papel de aluminio, pasta de glicol espesado, cera, o sumergiendo los objetos en agua si esto fuera posible. También se pueden utilizar como "catalizadores" compuestos de borano o aplicar monómeros difuncionales.

El endurecimiento de monómeros en el interior de los materiales porosos se ha conseguido también por irradiación con isótopos radiactivos como el Cobalto-60, sin emplear ningún catalizador, obteniéndose resultados muy satisfactorios tanto con los acrílicos corno con otros sistemas de monómeros tales corno el estireno. Acrilonitrilo, cloruro de vinilo, acetato de vinilo, dietilfta lato,estireno/acrilonitri lo, estireno/poliéster, estireno/ epo xi, etc..., aunque quedan aún por resolver bastantes cuestiones relacionadas con el difícil comportamiento térmico del conjunto piedra polímero y la difícil puesta en obra de los instrumentos capaces de suministrar la radiación cualitativa y cuantitativamente necesaria, entre otras cuestiones.

3. Ceras

Aunque existen numerosos inconvenientes que restringen teórica y prácticamente el empleo de ceras y parafinas en el tratamiento de materiales pétreos, se están usando muy a menudo para consolidar y proteger materiales alterados.

La cera de parafina se utilizó en disolución al 10% en *white spirit* sobre granito, aplicando la disolución dos veces consecutivas y, una vez evaporado el disolvente, se procede a calentar la superficie con soplete para derretir la cera en las fisuras. También se ha utilizado para consolidar elementos escultóricos con avanzada deteriora- ción causada por sales, mezclando dos partes de cera de abejas y ocho partes de cera de parafina, fundiendo la mezcla con calor y haciéndola gotear sobre la piedra calentada con infrarrojos, con lo que se consigue el bloqueo de las sales en el interior de los poros y dentro de la masa de cera, por lo que la cantidad de cuya consumida significa un índice de la bondad del tratamiento, contra- riamente a lo que ocurre con las resinas que deben utilizarse en la menor cantidad posible que asegure la cohesión entre las partículas disgregadas.

Como consolidante y protector del granito, también se han utilizado las ceras sintéticas microcristalinas (Cosmolloides de fabricación Astor Boiseller de Londres), pues presentan algunas ventajas dado que el punto de fusión puede ser mayor o menor según los distintos tipos, presentando una menor adherencia al polvo y a la suciedad. Para la consolidación de esculturas alteradas se han aplicado con pistola, disolviendo en *white spirit* una mezcla de parafina y polietileno.

En Galicia, se ha consolidado granito de los Monumentos utilizando una mezcla de cera de abejas y azufre, que se extiende sobre la roca previamente calentada con un soplete, estando inspirado este método en la técnica utilizada por los canteros gallegos para pegar fragmentos de granito.

4. Adhesivos estructurales

Los adhesivos para reparar fracturas en las piedras de construcción, tienen como misión unir en forma permanente las dos superficies separadas por el siniestro.

Antiguamente se empleaban productos naturales como el azufre fundido, resinas naturales fundidas o disueltas en aceites secantes, gomas naturales, proteínas de leche, huevo, sangre, cola a partir de retazos de piel animal o de pescado, etc. que están ampliamente recogidos en los recetarios industriales de diferentes épocas, muchos de ellos publicados en español. Con la aparición del cemento, fueron numerosas las formula- ciones para su uso como adhesivo de la piedra, formando lechadas de extraordinaria resistencia.

En nuestro siglo, la utilización industrial de los materiales plásticos ha permitido preparar adhesivos estructurales de características extraordinarias, con un grado de prestaciones impensable con anterioridad y que, como hemos visto antes, pueden crear uniones entre metales más resistentes que una soldadura.

Las fuerzas de unión, se basan principalmente en la interacción de los átomos en contacto entre el adhesivo y las dos superficies del objeto que se desean unir, interacción que se establece al cortarse los orbitales de los electrones de los átomos superficiales, con lo que se disponen así electrones comunes con una configuración estable que se traduce en una fuerza de adherencia que es prácticamente igual a la fuerza de cohesión interna en materiales no cristalinos.De estas fuerzas, las más importantes son las de valencia secundaria conocidas como fuerzas de van der Waals, pero también tienen relevancia las de valencia primaria, ya sean las jónicas y electrostáticas conocidas como fuerzas de Coulomb, o las de enlace covalente por pares de electrones, y también las metálicas debidas a los electrones libres en las estructuras metálicas. Las diferentes teorías elaboradas para justificar los fenómenos de la adhesión entre superficies, se refieren principalmente a su carácter mecánico, de difusión, electrostático y de adsorción físico-química, siendo estas últimas las que justifican de forma más general los mecanismos dependientes esencialmente de las fuerzas de van der Waals.

En consecuencia, cuanto mayor sea la superficie de contacto mayor será la fuerza de adherencia, siempre que el adhesivo se distribuya adecuadamente sobre dicha superficie, por lo que reviste gran importancia la tensión superficial (también llamada energía libre superficial) de los materiales en presencia pues, cuanto mayor sea ésta más fuerte será la unión.

Para la aplicación práctica, es necesario preparar las

superficies limpiándolas a conciencia de toda clase de impurezas, especialmente las grasas por su baja tensión superficial, con métodos mecánicos y químicos tales como chorro de arena u otros abrasivos enérgicos, disolventes, vapor de agua, etc... así como aplicar a la unión presiones de entre 1'5y 3'5 kg/cm^2 para evitar las burbujas de aire que generan una pérdida de superficie de adherencia.

Los tipos de adhesivos que se emplean en restauración de piedra, se presentan normalmente en forma de pasta y son esencialmente del tipo poliéster y epoxi, cumpliendo con eficacia los requerimientos técnicos solicitados por los restauradores.

5. Limpieza de la piedra

Mantener limpios los Monumentos es, no solamente una exigencia estética sino también una necesidad técnica para la conservación de los materiales, por lo que se requieren intervenciones periódicas dentro de los programas de mantenimiento de los edificios. En contra de las razones dadas por los restauradores, cada día se aplican más los distintos sistemas industriales que tienden a liberar la superficie de todas las sustancias adheridas a la piedra, lo que hace desaparecer la superficie manufacturada que constituye uno de los elementos más destacados de su significado cultural, por lo que muchos están siendo alterados más o menos intensamente. Desde la restauración se explica con claridad que en todas las operaciones de limpieza, la superficie de la piedra debe ser conservada por evidentes razones históricas, estéticas y aún técnicas, por cuanto desempeña normalmente una función protectora, como demuestra el que la corrosión suele comenzar en las lagunas de la patina. Se puede eliminar la materia acumulada sobre la piedra (detritus, polvo, hollín, excrementos de palomas, etc...) usando solamente cepillos vegetales o chorro de aire a presión moderada. Deberán evitarse los cepillos metálicos, rasquetas y, en general debe excluirse todo chorro a elevada presión ya sea de arena natural, agua o vapor, desaconsejándose el lavado de cualquier tipo.

La limpieza de fachadas con procedimientos industriales tiene como objetivo primordial cumplir con las especificaciones técnicas de los sistemas diseñados para obra nueva, para lo que es condición primera una limpieza a fondo que permita aplicar los productos sobre un sustrato sano, por lo que resulta extraordinariamente difícil conciliar este punto de vista con el que se propone la protección de los restos de estucos de yeso y cal, policromías y patinas que la restauración exige.

En los Monumentos, se cree firmemente que deben excluirse lo que llamamos sistemas industriales, debiendo ejecutarse los trabajos con procedimientos lo más manuales y lo menos automatizados que sea posible. La limpieza tiene como fin hacer legible la superficie para restituirle su significado y es siempre una operación delicada porque es irreversible. Si bien el principio es sencillo, resulta a menudo difícil de ejecutar ya que el estado que se procura alcanzar con la intervención, depende en gran medida de los mensajes de que es portador, que son de muy diversa índole y, a veces, poco perceptibles a simple vista, por lo que un tratamiento imprudente puede destruirlos. Por esto, más allá de que unos métodos de trabajo puedan parecernos más recomendables que otros, lo que de verdad importa saber es el estado de superficie que tenemos y aquel que queremos alcanzar, pues ese proyecto es el que tenemos que realizar utilizando los medios adecuados para conseguirlo. Hemos pues de convenir en que la limpieza sólo puede encomendarse a quienes comprendan la naturaleza de los mensajes contenidos en esas superficies y sepan restaurarlos, pues no existen métodos ni productos que resuelvan por sí solos la falta de conocimiento y criterio de un operador poco o mal instruído en las bases metodológicas de la restauración moderna.

6. Descripción práctica de los procedimientos recomendados

6.1. Limpieza de la superficie de la piedra

Conviene establecer una distinción entre las nociones de "suciedad" y "retención de la suciedad", pues mientras que la primera está provocada por la acción del ambiente exterior, la retención es una característica del material, por lo que la importancia del fenómeno dependerá de ambos factores. La composición química y la morfología de las partículas de suciedad así como la forma en que llegan sobre la piedra son cuestiones importantes para el estudio básico del problema; respecto a la retención, en el caso más simple es de naturaleza mecánica, especialmente para las partículas groseras más fáciles de eliminar, pero generalmente pone en juego diferentes fuerzas de van der Waals y de Coulomb que fijan las partículas sobre la superficie de las piedras. La oleofilia desempeña igualmente un papel en el caso del ensuciamiento por alquitrán y aceites, y también influye la finura y las irregularidades de la superficie de la piedra.

El desprendimiento de la suciedad es un proceso fisicoquímico de superficie. El agente de lavado no sólo sirve para llevar consigo las impurezas, sino también para transmitir al material una energía cinética, pudiendo de esta forma ser arrastradas las partículas por el fluido en movimiento, pero esto sólo es aplicable a las partículas suficientemente gruesas. También se ha de considerar la transmisión de energía calorífica del fluido, de tal manera que pueden fundir los alquitranes o actuar contra las fuerzas de van der Waals que fijan las partículas al soporte.

Para el lavado con agua, el concepto de mayor interés es la tensión superficial, pues en la interfase de contacto entre un cuerpo sucio y el liquido de lavado, la tensión superficial del conjunto determina si la operación es o no posible; para bajar la tensión superficial del agua desde 72 dinas x cm-1 hasta 30 din. x cm- 1 que es la correspondiente a sustancias no específicamente polares, se precisa la adición de agentes tensioactivos, debiendo aplicarse únicamente los de carácter no iónico y, pese a todo, tienen el inconveniente de ser difícilmente eliminables del material poroso que impregnan, lo que conduce a un estado de higroscopicidad de la piedra, en modo alguno recomendable.

El proceso de limpieza, se puede conducir desde un punto de vista práctico, de la siguiente forma:

Se iniciará con un cuidadoso barrido en seco, empleando brochas de cerda suave para recoger todo el polvo y suciedad, así como los elementos sueltos capaces de ser reintegrados a su lugar de origen, en fases posteriores. Se cuidará especialmente de no erosionar las zonas en que la piedra se muestre superficialmente arenizada o presente alifafes y costras que deban recibir un tratamiento de preconsolidación con los productos y sistemas adecuados a este fin, y que mas adelante se

detallan pormenorizadamente. En esta fase, se procederá a eliminar todos los restos metálicos, clavos oxidados, tacos de sujeción, restos de instalaciones en desuso, etc... que no presenten ninguna razón mayor para su mantenimiento. Se continuará esta labor de limpieza mecánica, eliminando todas las prótesis y reparcheos, de cemento portland e ínfima calidad , que tapan muescas, fracturas, desgastes y juntas de la cantería, empleando los recursos mecánicos adecuados y las manos expertas y sensibles de personal experimentado.

La limpieza debe proseguir, manualmente, con un repaso de las zonas que se muestren más delicadas, preconsolidando y limpiando con ayuda de pulverizaciones de agua/alcohol/amoniaco (t: 1: 1), hasta alcanzar un estado aceptable de la superficie. similar al de las areas adyacentes. Las colonias de algas y líquenes se destruirán aplicando disolución al 10% de formol en agua, y procediendo a su eliminación mecánica una vez muertas. Con las plantas superiores se actuará de la misma forma, pero con disoluciones de un herbicida total del tipo glisofato.

La limpieza propiamente dicha de la superficie de la piedra así preparada, se efectuará mediante un sistema de proyección en seco, sin humedad alguna, empleando boquillas de poca sección para así alcanzar un grado de precisión elevado, y efectuando siempre una proyección suficientemente tangencial a la superficie que se desea limpiar, para utilizar provechosamente la energía cinética de las partículas proyectadas y evitar al operador las molestias del polvo, prefiriendo este sistema al empleo frontal de boquillas en torbellino de los sistemas Joss, Liren, u otros de precisión menos personalizada. Los áridos proyectados serán seleccionados por el restaurador de cara a los diferentes problemas que se presenten, basándose principalmente en las bolitas de vidrio de dureza 7 (tipo Restauro Sec), pero teniendo disponibles toda la gama de abrasivos, desde el talco, la alúmina y la dolomita, hasta la sílice y el carborudun, para lo que fuere preciso.

La limpieza con energía fotónica lasser ofrece grandes prestaciones de calidad, en algunos casos.

La búsqueda de los "niveles de limpieza" será función esencial de la Dirección Facultativa y su equipo.

La operación curativa de la piedra, de mayor trascendencia, es sin duda la eliminación de las sales solubles que la piedra contenga. Para ello, sobre las superficies (limpias, con las juntas descarnadas y los reparcheos de cemento eliminados y preconsolidadas las areas más débiles), se aplicarán pastas absorbentes formuladas con sepiolita-celulosa, el número de veces que fuere preciso, para garantizar una eliminación eficaz del salitre, bajo control químico cualitativo y cuantitativo de la evolución del tratamiento.

6. 2. Programa de reparaciones

A partir de este momento, el trabajo se conduce a efectuar las reparaciones necesarias, resolviendo fracturas, poniendo prótesis ó reponiendo elementos perdidos con piedra natural según los casos, retacando juntas y precintando todas las fisuras de la piedra capaces de suponer una vía de penetración del agua en el material, para lo cual es necesario definir las soluciones más convenientes para las siguientes cuestiones: 1) Adhesivos para reparación de fracturas y materiales de refuerzo para las uniones, 2) Masillas para precintar fisuras, 3) Formulaciones de piedra artificial para prótesis en zonas de reposición, y morteros para el retacado de juntas.

6. 2. 1. *Para pegar piedra se utilizan principalmente resinas epoxídicas y de poliéster*

Unas y otras tienen ventajas e inconvenientes, por lo que resulta preciso disponer de ambas en el lugar de trabajo. Las epóxicas no presentan retracción alguna durante el proceso de endurecimiento, mientras que las de poliéster se contraen significativamente, por lo que se cree que introducen tensiones indeseadas entre las caras a ensamblar. Las epóxicas tienen un proceso de endurecimiento cuya velocidad se controla más difícilmente que el de los poliésteres, por lo que se prefiere el empleo de los segundos cuando las piezas a ensamblar ocupan posiciones comprometidas en las que resulta difícil asegurar el equilibrio del conjunto durante un lapso de tiempo de 24 horas o más. Unas y otras deben estar formuladas por el restaurador experimentado, a fin de prepararlas con la fluidez o la tixotropía exigible a cada caso, agregando las cantidades precisas de catalizador (normalmente de peróxido de benzoilo) y activador de disociación del peróxido (frecuentemente sales como el naftenato de cobalto o aminas terciarias). Se considera fundamental que las caras de la piedra que van a ser pegadas, estén completamente limpias y secas, aplicando disolventes desengrasantes (tricloroetileno o tetracloruro de carbono) si se sospechara la presencia de contaminantes grasos de la combustión de hidrocarburos, restos de pinturas, barnices u otros. La aplicación del adhesivo debe efectuarse sobre las dos caras, con una primera fórmula más fluida que impregne los poros del material, y con la menor cantidad posible de .adhesivo entre las dos caras, sometiendo a continuación el conjunto a la presión mecánica de gatos, etc. que aseguren el mayor acercamiento entre las superficies a pegar, eliminando las sobras de resma en fresco.

Una vez pegados los fragmentos, puede resultar necesario o conveniente reforzar la unión introduciendo varillas metálicas, de fibra de vidrio o de carbono. En todos los casos, se realizarán previamente los taladros necesarios, de diámetro ligeramente mayor que las varillas a introducir, limpiando perfectamente el agujero de todo resto de polvo de piedra, procediendo seguida- mente a llenarlos con la resma y a introducir las varillas (que suelen estar descalibradas o roscadas para presentar una superficie con mejor trabazón). Los metales recomendados para estas varillas son aceros inoxidables 18: 8: 8, roscados, que se encuentran fácilmente en el mercado de cualquiera de nuestras ciudades y que, al estar recubiertos de resma y en el interior de la masa pétrea, se les atribuye una resistencia a la corrosión suficiente para nuestros planteamientos actuales de cara al patrimonio, creyendo además que los otros metales más estables que han sido propuestos, tales como las varillas de titanio o de bronce al manganeso, suponen unos extras en costo y en dificultades, a nuestro parecer innecesarios actualmente.

6. 2. 2. Masillas para precintar fisuras

La experiencia enseña que la penetración del agua a través de las fisuraciones y lascas de la piedra, es una de las causas más graves de alteración en los elementos construidos y que al precintar cuidadosamente estas vías de alteración, con

morteros suficientemente plásticos y de buena adhesividad, introducimos un programa de protecciones, inspirado en los recursos constructivos, que genera unas condiciones de conservación altamente eficaces. La aplicación de una masilla formada con polvo de mármol impalpable y pigmentos ocres, aglutinados con resinas termoplásticas del tipo poli-acetato de vinilo disueltas en acetona, utilizando para ello espátulas de restaurador y ayudando al acabado final con disolvente frotado con pincel de cerda suave, todo ello conducido con deseo de perfección por un operador responsable, produce resultados eficaces, base fundamental sobre la que establecer los hidrofugantes finales.

6. 2. 3. Morteros de Restauración

Cuando se crea necesario reponer fragmentos de piedra faltantes, puede ser ejecutado con piedra natural (que supone una labor de marquetería, cajeando el material e introduciendo piedra nueva de la misma o distinta procedencia) o con piedra artificial por adaptarse con toda facilidad a los bordes existentes, no implica el daño suplementario de tener que "cortar por lo sano" y puede integrarse con el nivel de diferenciación que, respecto del original, demanda la legislación vigente.

Los morteros existentes están formulados sobre base orgánica y sobre base mineral, proponiendo que se utilicen morteros minerales, dejando para otras cuestiones los morteros formulados con resinas sintéticas.

Entre los morteros de base mineral cabe diferenciar entre los que se formulan con las materias tradicionalmente empleadas en construcción (cales, cementos, desgrasantes y aditivos varios) y los de reciente aparición en el mercado formulados con aglutinantes de esteres silícicos y silanos oligoméricos, silicatos alcalinos, etc... preparados en fábrica y dispuestos completamente para su uso en obra. En nuestra opinión, preferimos la utilización de los morteros tradicionales, preparados directamente en obra con materias primas acopiadas para la totalidad del trabajo, y formulados de acuerdo con las mezclas seleccionadas por la experiencia en restauración y contrastadas por las pruebas de Laboratorio efectuadas sobre probetas de ensayo. Todas las prótesis estarán colocadas sobre una armadura de varillas metálicas o de otro material. En las juntas se actuará retacándolas cuidadosamente con el mismo mortero, calibrando la fluidez para obtener una penetración adecuada.

6.3. Aplicación de productos de tratamiento en la piedra

Para la consolidación e hidrofugación de la piedra, debemos distinguir dos realidades diferentes:

1. La piedra desnuda y con niveles de alteración superficial significativos, que constituye sin duda la mayor parte de los elementos pétreos en que se ha de intervenir y,
2. La piedra sana, conteniendo aún restos de recubrimientos y patinas, que representa una porción mínima y ciertamente muy perturbada por adiciones recientes de muy mala calidad y por suciedades fuertemente incrustadas en la piel de la piedra.

Los productos recomendados por los especialistas para su empleo en los Monumentos, se resumen esencialmente en los siguientes capítulos:

6.3. 1. Esteres silícicos del alcohol etílico

Esteres silícicos del alcohol etílico, solos o mezclados con resinas silicona (Silanos) de pequeño tamaño de molécula (oligoméricos) como, por ejemplo, el metiltrimetoxisilano (Z 60-70 de Down Corning (Inglaterra), o el X 54-802 Rhodorsil de Rhóne Poulenc (Francia, Inglaterra), entre otros. El silicato de etilo, por él mismo, no confiere a la piedra alterada ni dureza ni hidrofobicidad,encomendándosele tradicionalmente las funciones de:

a) Mejorar el comportamiento de las partículas de arcilla en cuanto a la retención de agua y,
b) Imprimar las calizas para, posteriormente poder hidrofobarlas con resinas silicona, dado que los siliconatos alcalinos no son recomendables por los restos de sosa y potasa que dejan al hidrolizarse.

De esta problemática nació, hacia fines de los años sesenta, un producto de la firma comercial Th. Goldschmidt AG (Alemania Occidental) denominado "Sandstejo Verfestiger", que posteriormente cambiaría su nombre, sucesivamente, por el de Tegovakon, Tegovakon H, y Tegovakon GS, (conservando el nombre de Tegovakon V para el silicato de etilo, parcialmente polimerizado), productos estos que suministraban, simultáneamente, un endurecimiento de las superficies pétreas y un efecto repelente al agua, útiles para todas las piedras, calizas y areniscas. La Empresa Goldschmidt también preparaba una resma silicona para la construcción denominada Sikovin, recomendando su aplicación para reforzar el carácter hidrófobo de las superficies tratadas. Actualmente, los productos Goldschmidt disponibles se denominan Tegovakon y Tegosivin, tanden recetario para el tratamiento de la piedra que ha sido ampliamente promocionado por técnicos italianos vinculados a organismos oficiales. Productos de naturaleza muy similar, diseñados para el mismo tipo de función, son los fabricados, entre otros, por:

- Wacker-Chemie GmbH de Alemania Occidental, con los nombres Strengthener " OH" y "H".
- Bau-Chemie Prochaska und Pucher KG de Austria, con el nombre Monumentique 1 y 2.
- Dynamit Nobel AG de Alemania Occidental, como Dinasilan "LP-C.363 1" y ~BSM 40".

Para el empleo en restauración de estos productos, es preciso tener en cuenta el carácter irreversible de las impregnaciones en materiales porosos y el aumento del brillo en las superficies tratadas, así como que el contenido en agua del material pétreo se mantenga, antes de la aplicación, en niveles suficientemente bajos. Cuando los trabajos estén fuertemente condicionados por los recursos económicos disponibles, es conveniente tener en cuenta que, para piedra arenisca de porosidad próxima al 10%, se pueden consumir hasta 5 litros del producto por cada 1112, lo que eleva el precio de la actuación muy considerablemente.

6.3 2. Resinas acrílicas del tipo polimetil o polietil- metacrilato

Resinas acrílicas del tipo polimetil o polietil-metacrilato, solas o modificadas por adición de otros productos capaces de conferirles mayor hidrofobicidad, impermeabilidad, etc... según la intencionalidad del tratamiento previsto por el restaurador. El empleo de estos barnices goza de gran prestigio entre los restauradores por

ser productos con experiencia acumulada en objetos histórico-artísticos muy diversos y, los únicos que cumplen plenamente la condición de reversibilidad dentro del marco lógico de limitaciones que todos suponemos. Su manipulación se acomoda fácilmente a los hábitos del trabajo artesano, consustancial con el corpus metodológico de la restauración moderna. Como factores decisivos en la aplicación de estos productos, cabe destacar, los tendentes a evitar la formación de "barniz lámina" y a utilizar la menor cantidad posible de materia sólida, lo que determina el empleo de formulaciones disolvente-diluyente adecuadas, técnicas de deposición que alarguen el tiempo de contacto entre el líquido y en material poroso, disminución de la velocidad de evaporación en el material tratado, desecación de los materiales a impregnar, elección del polímero o prepolímero por su tamaño de partícula y proceso de endurecimiento, etc... ya señalados anteriormente.

Los productos comerciales de que disponemos normalmente son:

a) el Bedacryl 122X de fabricación Imperial Chemical Industries, de Escocia, que en los años setenta ha pasado a llamarse Sinocryl 1 122X, ester polimetil-etil-metacrilato, prepoli merizado y disuelto en xilelo al 40% en materia sólida,
b) Paraloid B-72 y B-82, copolímeros de polimetilmetacrilato y polietilmetacrilato respectivamente, como producto sólido en forma de gránulos transparentes, de fabricación Róhm and Haas de USA (en América recibe el nombre de Acriloid).

En su aplicación práctica, los disolventes verdaderos suelen ser el xileno, tolueno o disolvente universal de nitrocelulosa, empleándose como diluyente la fracción *white spirit* de la destilación de las gasolinas. Los modificantes para aumentar la impermeabilidad son las parafinas de punto de fusión superior a *850* C, como por ejemplo los denominados Cosmolloids de fabricación Astor Boisseller, Inglaterra, comercializados en España por la Sociedad Iberceras. Para aumentar la permeabilidad y la repelencia al agua, las resinas acrílicas se modifican por adición de siliconas, las mismás que se utilizan en construcción y que anteriormente hemos señalado, existiendo productos comerciales que ya incorporan los dos componentes, acril-silicona como son, por ejemplo, el preparado JMC-MMA de la firma Kunststoff GmbH de Alemania Occidental, o el BS-31 de la Wacker Chemie GmbH de Munich, antes citada, o la formulación E0057/ 55050 de Raccanello Ard. en Padua, Italia, entre otras. La aplicación se hace con pulverizadores "airless" manteniendo la superficie saturada de líquido el mayor tiempo posible, procurando finalmente que la evaporación se efectue lentamente con los recursos posibles. Aunque generalmente se piensa que la mejor penetración se consigue con disoluciones diluidas *(5%* ó menos) la práctica enseña buenos resultados por aplicación de concentraciones mayores (10% o más) seguidas de aplicación de diluyente puro, como vimos antes.

7. Conclusión

En este artículo, hemos querido dar una respuesta a quienes parecen sentir un cierto temor respecto a los sistemas y productos utilizados por los restauradores que, aunque son muchos y a veces bastante sofisticados, se entrocan en los procedimientos artesanales de probada eficacia y en las modernas tecnologías cuyo empleo necesita a la vez conocimientos teóricos procedentes de disciplinas variadas. Los riesgos que toda intervención comporta, son inversamente proporcionales a la atención con que se actúe, al grado de control que se ejerza, a la rapidez de la actuación, y, aunque son trabajos altamente especializados, comportan un mínimo de inseguridad si se les confía a restauradores experimentados que dispongan de todos los recursos técnicos necesarios, pues son ellos, los únicos capaces de extraer todas las posibilidades teóricas y prácticas de cualquier método o producto.

En esta lección, por su carácter eminentemente práctico y para realzar las nociones esenciales que ayuden en la claridad de la exposición, hemos olvidado referirnos continuamente a los especialistas, artículos y restauraciones concretas, limitándonos a continuación a citar algunas obras generales que puedan conducir a los interesados hacia investigaciones más especializadas.

CONTAMINACIÓN Y PATRIMONIO: PUNTO DE VISTA DEL RESTAURADOR

1. Introducción

De entre todos los problemas que plantea la Restauración, uno de los más delicados es el de la limpieza de las fachadas de los Monumentos afectados por la Contaminación atmosférica, pues en esas superficies se concentra la mayor parte de su significado Histórico-Artístico y la operación es siempre irreversible.
Nadie pone en duda hoy la necesidad de limpiar nuestros Monumentos, pero unos imaginan que si se retira todo lo que hay sobre la piedra, se recupera el estado primitivo de forma automática y sin hacerles daño, mientras que otros consideran esta fórmula un tanto simplista y poco conforme con el verdadero estado de las superficies manufacturadas y el sentido profundo de sus variados matices.

Las divergencias no se manifiestan en forma alguna sobre el principio sino sobre la aplicación y, por esto, resulta importante examinar esos estados de superficie para conocer su significado y deducir las orientaciones metodológicas de las intervenciones más convenientes a cada caso.

La Restauración, que busca la Conservación del Monumento como conclusión principal de orden práctico, utiliza la experiencia interdisciplinar combinada respecto al objeto como un camino para explorar y descubrir cuantos conocimientos sobre nosotros mismos han quedado impresos en su materia, colaborando así en el proceso de la crítica histórica con la interpretación renovada de las cosas de los hombres capaces de haber dejado una impronta sobre las fachadas de los Monumentos.

En esta Ponencia, se han querido confrontar las conclusiones procedentes de los informes del Restaurador y de los Investigadores de laboratorio sobre un conjunto de Monumentos españoles[1] afectados por la contaminación atmosférica, para tratar de distinguir entre las «costras de sulfatación» por contaminantes atmosféricos y los «enyesados» con que la tecnología de diferentes épocas vino a dar remate a las paredes de fachada.

2. Estados de superficie en algunos monumentos españo les

Los materiales de construcción y la piedra en particular, han recibido en diversas épocas tratamientos de superficie tanto en los parámetros de las fábricas como en molduras, cornisas figuraciones arquitectónicas y esculturas en general. En casi todos nuestros Monumentos se conservan testimonios expresivos y son abundantes en la mayor parte de nuestras Catedrales y Monumentos de la Iglesia que. salvo pocas excepciones, se han limpiado poco y con bastante prudencia. No se trata aquí de referirnos a todos ellos, sino de centrarnos exclusivamente en los que utilizan el Yeso como materia fundamental. dejando al margen los recubrimientos a base de Cal propios del Siglo XVII y las preparaciones con Albayalde y Blanco de San Juan de las tradiciones técnicas medievales que se prolongaron el tiempo con las escuelas del Norte de Europa.

Durante los trabajos de Restauración realizados en las últimas décadas. hemos podido comprobar la existencia de dos tipos de recubrimientos hechos con Yeso. El primero de ellos, podemos referirlo a un estuco a base de Yeso fino, ya sea mezclado con arena de cuarzo y sustancias proteicas ya sea Yeso blanco dado solo con agua, similares a la preparación de la madera que caracteriza a la pictórica de la Escuela Hispano-Flamenca, y así aparece en los Portales de la Catedral de León (Occidental y Meridional), Portada del Obispo de la Catedral de Palencia, Pórtico Occidental de la Catedral de Oviedo y. como base intermedia de repolicromados tardíos, en el Pórtico de la Gloria y en la

---

[1].-Hace ahora veinte años que Josef Riederer nos hizo ver desde el Instituto Doerner, unos recubrimientos de Yeso sobre la piedra, el bronce y otros materiales de los Monumentos que no podían tener su origen en la contaminación atmosférica, pese a que se aseguraba y se sigue insistiendo en medios científicos que la contaminación transforma en Yeso las superficies de los Monumentos [(a)].
Sus observaciones y datos nos impusieron una reflexión más profunda sobre la epidermis de Yeso, casi pictórica, que habíamos encontrado años antes, sobre la Portada de Ripoll y que pasamos en silencio en las publicaciones refiriéndonos exclusivamente a la existencia de Sulfato Cálcico y otras sales en la superficie esculpida. En esas fechas la presencia de Yeso, como preparación sobre piedra, lienzo y madera, resultaba un elemento casi constante en las obras que restaurábamos en el ICROA, retablos, pintura, escultura y muy especialmente sobre la Catedral de León [(b)].
Poco más tarde, en 1975, Raffaella Rossi-Manaresi también se hacia preguntas sobre el alto contenido de las superficies pétreas en Yeso y su relación con los contaminantes atmosféricos, aunque pareció asumir la hipótesis química al advertir que el Yeso no figura en las publicaciones del último siglo como una de las sustancias utilizadas para el tratamiento de la piedra [(c)].
En esta ponencia no nos proponemos examinar la importancia relativa de los daños atribuidos a la contaminación respecto a otros factores mucho más agresivos, porque eso ya lo ha hecho Riederer hace diez años [(d)], sino más bien reunir en forma sucinta los daños que hemos venido publicando en ediciones poco accesibles, relativos a los enyesados que se conservan abundantemente en muchos Monumentos de España y cuya protección es la razón de ser de nuestro trabajo como Restauradores (nota 2).

[(a)] RIEDERER , J. «No destruction of stone by air pollution» en Ist International Symposium on the Deterioration of Building Stones. La Rochelle, 1972.

[(b)] CABRERA, J.M. **1)** "Influencia de los contaminantes en el Patrimonio Artístico Nacional", en Economía Industrial, nº 107., pp. 51-59. Ministerio de Industria. Madrid, 1972.**2)** "Fundación Juan March. Programa de Investigación 1971. Alteración y Conservación de Materiales Pétreos en Monumentos Históricos", Madrid, 1972. **3)** "Conservación y Restauración de una Escultura Ibérica en Piedra Policromada del S. IV a JC. En Boletín del Instituto de Restauración Vol. 12, pp. 23-24. Madrid 1972. **4)** "Study of the materials and technique of the polycromated sculpture" ICOM-Conservation, Madrid 1972. **5)** "Etude et Traitement de l'Annonciation de Pedro Berruguete", ICOM-Conservation, Madrid 1972, entre otros.

[(c)] ROSSI-ARESI, R. "Exfoliation of stone sculptures: review of researches carried out on Italian Monuments with particular regard to the reliefs by Wiligelmo on the Cathedral of Modena", ICOM-Conservation, Venecia 1975 75/5/3-31-22.

[(d)] RIEDERER, J. "Nicht nur die Luftverunreinigung nagt an Baudenkmälern", Wissenschafts-magazin, 2,Nº.2.p.92, 198.

Puerta Santa de la Catedral de Santiago,mientras que, como Yeso solo, dado con agua, aparece sobre las terracotas de la Portada del Perdón de la Catedral de Sevilla.

Los Informes científicos de Laboratorio redactados sobre estos Monumentos han querido establecer, sin lugar a dudas, que la superficie de Yeso sobre Terracota, Calizas, Areniscas y Granito era debida a la acción química de los contaminantes atmosféricos[2], pero entre los profesionales de la Pintura, estos recubrimientos se reconocen con toda normalidad como "los yesos del XVI" que el restaurador encuentra frecuentemente y que caracteriza con total seguridad realizando sencillas pruebas de cristalización, tinción o precipitación, trabajando sobre micromuestras y de acuerdo con la metodología puesta a punto por los Laboratorios de Museo[3]

La descripción técnica de estos recubrimientos nos ha llegado documentalmente a través del Libro del Arte de Cennino Cennini que recoge las tradiciones técnicas anteriores a 1437, coincidentes con las obras de las Escuelas del Sur y, en particular con los pintores Hispanoflamencos de finales del XV y del XVI[4]. Cennini empieza el bajo limpiando bien la piedra y dándole una o dos manos de cola bien caliente, dejándola luego secar. A continuación, hierve aceite de linaza con carbón y 1/3 de barniz, hecha el mordiente, separa el carbón. y mezcla todo bien, dándolo muy caliente con igualdad por las partes, con un pincel de cerdas grueso; lo deja secar bien al aire y al sol y. mediante una esponja le aplica bien caliente un temple de cola y yema de huevo; finalmente, con temple de Yeso fuerte y cola, enyesa la figura añadiendo yema de huevo y un poco de polvo de ladrillo, dándolo con espátula y dejando secar. Finalmente dice ..« y si por acaso algún trabajo hubiera de estar expuesto al agua, barnízalo;no sería tan hermoso pero si más resistente».

El Yeso mezclado con Ocre y ligado con sustancias oleaginosas y proteicas, a modo de pintura, se encuentra en las fachadas de San Gregorio y de San Pablo de Valladolid, en la Fachada y en el Patio del Palacio del Infantado de Guadalajara y en la Iglesia Parroquial de Torrelaguna sobre la Portada de Poniente, entre otros, creyendo que muy probablemente sean restos de recubrimientos del Siglo XVI.

El segundo tipo de recubrimientos de Yeso que encontramos sobre las fachadas de los Monumentos, es una fina capa, muy sutil. normalmente de color siena aunque a veces está agrisada por la suciedad, a base de Yeso con algo de Ocre, apareciendo claramente como algo muy tardío tapando policromías, rotos y desconchones en muchos casos, viéndose aplicada claramente a brocha por los trazos de cerdas gruesas que quedan grabados. En la Portada de los Apóstoles de la Catedral de Valencia está cubriendo las policromías y marmoleados de todo el cuerpo bajo, y en la Fachada de Santa María de Aranda de Duero tapa toda la policromía del tímpano y la mayor parte de los principales relieves y esculturas. También se encuentra la Portada del Sagrario de la Catedral de Málaga, en la Portada Platerías de la Catedral de Santiago sobre el mármol, arenisca., granito y serpentina, tapando pequeños restos de estuco antiguo a base de Blanco de Plomo y Carbonato de Calcio, y también en la Portada de Ripoll sobre muchos de sus bajorelieves, y en la Portada de San Gregorio de Valladolid y cubriendo prácticamente toda la superficie labrada del Claustro de la Catedral de León. Su presencia se rastrea con facilidad en la mayor parte de los Monumentos de Salamanca, como las fachadas de la Catedral, Universidad y Casa de las Conchas entre otros.

La descripción técnica que mejor cuadra con estos esta superficie corresponde a Warland (1945)[5] quien dice que «Fijada la piedra a la construcción, conviene cubrirla con una mezcla de piedra triturada y un poco de Yeso, para conservarla limpia y evitar la formación de una película sobre la misma, que de quitarla disminuye su duración; además, de este modo la fachada, una vez terminada, presenta un aspecto más uniforme».

---

[2].- CABRERA, J.M., **1)** Conservación de la escultura lítica exenta, en Symposium Interamericano de Conservación de Patrimonio Artístico. México, octubre de 1978., **2)** "Dibujos subyacentes en las obras de Fernando Gallego" en Boletín del Museo del Prado, 2, nº 4. pp.27-48. 1981. **3)** Causas de Alteración y métodos de conservación aplicables a los Monumentos hechos con piedra",en Materiales de Construcción, Nº 174., Instituto Torroja. Madrid, 1979. **4)** "Fábricas de Piedra", en Conservación y Restauración en Castilla-León. Valladolid, 1987. pp. 63-88., **5)** "Materiales de reparación: limpieza y protección de fachadas", en Jornadas sobre Restauración y Conservación de Monumentos, Madrid, 1989. (Instituto de Restauración). **6)** "Técnica de valoración y protección de las figuraciones arquitectónicas en piedra",en Restauración Arquitectónica, Universidad de Valladolid, 1991., pp. 283-300.

ESBERT, R. y MARCOS, R. ."Las Piedras de la Catedral de Oviedo y su Deterioración", Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Asturias, Oviedo 1983.
HERNANDEZ MARINE, MC y otros. "Deterioro de los materiales pétreos de la Puerta del Perdón (Catedral de Sevilla): Efectos de lo organismos vegetales y la contaminación atmosférica", Universidad de Sevilla, 1989.
GOMEZ LOPERA, E. "Estudio para la Restauración de algunos Monumentos en Valencia: Análisis de alteraciones en la piedra",Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, 1985.
BELLO LOPEZ, MA. "Caracterización y estado de alteración química de los materiales empleados en la construcción de la Catedral de Sevilla". Tesis Doctoral, Facultad de C. Químicas, 1988.
ALCALDE MORENO, M. "Sintomatología de alteraciones de las Catedrales de Sevilla, Cádiz y Almería", Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Escuela Superior Ingenieros Industriales. Sevilla 1989.
CASAL PORTO, M. "Estudio de la alteración del granito en los edificios de interés histórico de la provincia de La Coruña'. Tesis Doctoral, Universidad de Santiago, 1990.

[3].-CABRERA, J.M. 1). "Contribución de la Química a las Bellas Artes" .Real Academia de Ciencias, Madrid 1981. 2)."Scientific Examination of Easel Paintings: Cross-sections", en Art History and Laboratory, PACT, Consejo de Europa,1986, pp. 155-169.

[4].-CENNINO CENNINI "Il libro dell'Arte", Es un Códice de la mitad del S. XV que recoge las tradiciones técnicas de la pintura vigentes en su época. En el capítulo CLXXIV sitúa bien el marco en que se realizaban estos trabajos sobre piedra..." Acontece al tener que saber trabajar enteramente en todo, especialmente en aquellas obras que le reporten honra; y por tanto, aunque no sea costumbre (entre los pintores) pero como yo lo he experimentado te lo enseñaré. Caerá en tus manos una figura de piedra ,grande o pequeña, y tendrás que ... (describir todo el procedimiento técnico de los enyesados y policromía)"

[5].-WARLAND, E.G. "Cantería de Edificación" Edt. Revené. Barcelona 1953, pp. 178. (No hemos podido aún consultar el original inglés editado por Pitman and Sons Ltd con el título Cconstructional Masonry, basado en una serie de artículos publicados en el Building Educator de Pitman.

Por su parte, Bails (1796)[6] da interesantes datos sobre la utilización del Yeso en las paredes de fachada, indicando que cuando se labra con sillarejo, se cubre con Yeso y finalmente «se la da por fuera una mano de Yeso y piedra molida, para que tenga la vista de la piedra» y también que en las paredes de sillería...«se cojen las juntas de piedra dura con mezcla de Cal y piedra molida; las de piedra blanda con mezcla de Yeso y piedra molida».

De otro lado, Doemer (1921)[7], al tratar de los daños v esfoliaciones causadas sobre las esculturas en piedra y madera policromadas,por los repintados en óleo dados en el Siglo XIX, dice ....«Este sobrepintado no se practicó por la falta de fragmentos. Hay efectivamente toda una serie de valiosas figuras policromadas, perfectamente conservadas, que no fueron retocadas, sino simplemente pintadas en gris piedra.El- gusto clasicista de la época podía quedar satisfecho con el alegre colorido gótico, barroco o renacentista, y creía además tener el derecho y la obligación de pintar las figuras por entonces en gris.

3. Limpiezay protección de fachadas

Mantener limpios los Monumentos no es solo una exigencia estética, sino también una necesidad técnica para la conservación de los materiales, por lo que se requieren intervenciones periódicas dentro de los programas de mantenimientos de los edificios.

En contra de las razones de los Restauradores, cada día se aplican más los distintos sistemas industriales e incluso automatizados, que tienden a liberar la superficie de todas las sustancias adheridas a la piedra, lo que hace desaparecer la superficie manufacturada de los Monumentos que constituye el elemento más destacado de su significado histórico por lo que muchos están siendo alterados más o menos intensamente.

A finales del Siglo XIX, desaparece el gusto por la policromía y se desarrolla un interés creciente por la piedra desnuda en un «regreso hacia lo auténtico»., cambio radical de moda que junto con los avances tecnológicos y la producción de materiales nuevos, generó una evolución en las formas de producir la Arquitectura. En su influencia sobre la Restauración, los mismos hechos condenan irremisiblemente a desaparecer todo lo que tape la piedra, sustituyendo la función tecnológica de los estucos como sistemas de protección, por productos transparentes que aíslan de la intemperie sin ocultar la imagen rústica del muro pobre. Esta apropiación del objeto arquitectónica del pasado, adaptándolo a lo que se le quiere hacer decir dentro de un tiempo de prioritaria valoración estética, se entiende mucho mejor bajo el término Rehabilitación, más próximo a la Arquitectura Moderna que a la Restauración propiamente dicha[8].

6.-BAILS, B. «Tratado de Arquitectura Civil» Madrid, 1796. Este tratado, encargo de la Real Academia para los cursos de Arquitectura, ha sido reeditado por el Colegio de Aparejadores de Murcia en 1983, junto con un estudio crítico del mismo realizado por Pedro Navascués Palacio que demuestra la amplitud con que copió a otros tratadistas en especial a BLONDEL, J.F. «Cours d'Architecture...» París, 1771-1797 en lo relativo a técnicas y materiales, aunque este autor francés no cita el Yeso concretamente sino el «mortier de badigeon».

Los enlucidos de fachada con Yeso, como indica Bails, son muy frecuentes en toda España, y también en Francia y más concretamente en la región parisina en donde han sido normales en el Siglo XVIII y principios del XIX, conservándose aún muy bien los pocos ejemplos que nos han quedado como consecuencia de la intervención masiva de renovación de fachadas que se llevó a cabo en Paris hace treinta años.

Aunque el Gobierno Francés decretó el 26 de marzo de 1852 que...«Les façades des maisons seront constantement tenues en bon état de propreté. Elles seront grattées ou badigeonnées au moins une fois tous les dix ans, como consecuencia de los conflictos bélicos, esta obligación solo volvió a entrar en vigor en 1959, con tal intensidad que en el siguiente quinquenio se habían limpiado en el Centro Histórico de Paris más de 66.000 edificios de los 88.400 censados.

Los graves problemas que se presentaron entre los distintos sectores profesionales al renovar los enlucidos exteriores de Yeso, fueron motivo de un detallado estudio hecho en común por tres Organismos Profesionales en colaboración con los Laboratorios do Batiment et de Travaux Publics (CAILLIEZ, A., EDOUARD, P., et MEVEL, M. «Les enduits exterieurs en plâtre», Batir., 1. Nº 142 pp. 29-30. 1963 y II. Nº 146 pp. 31-32. 1966). Al querer rehacer en Yeso los enlucidos limpiados con chorro de arena, aparecieron rápidamente desórdenes pequeños pero imprevisibles, que provocaron penosos litigios entre los distintos sectores implicados, con el agravante de que las recomendaciones contenidas en el estudio antes citado, se utilizaron para responsabilizar a los contratistas de no haberlas seguido, pese a que todos los trabajos estaban bien hechos «según las reglas del arte y no se contaba con estudios minuciosos de los diferentes factores capaces de haber influido en los siniestros».

La consecuencia de esto fue la pérdida de las fachadas originales, el abandono de una técnica tradicional y la introducción de formulaciones modernas a base de resinas sintéticas (en general, poliesteres, poliuretanos y mezclas complejas de resinas y de elastómeros) y cargas minerales (arena de mármol y cuarzo, gel de sílice, perlita, amianto y mica principalmente). («Epidermes de Façade», en Batir Nº 145 pp.24-27. 1966).

7.-DOERNER, M. «Los Materiales de Pintura y su empleo en el Arte» Edt. Reverté, Barcelona 1965, (Primera Edición Alemana 1921), pag. 385. Más adelante, en la página 399 vuelve al mismo tema diciendo...«Los métodos empleados hacia el año ochenta del siglo pasado, en los que en trabajos de renovación de esculturas o locales, todo se armonizaba mediante veladuras pardas homogéneas, como si se tratara de policromados antiguos, no tiene nada que ver con la conservación de Monumentos y deben rechazarse desde el punto de vista manual y artístico. Pues también el tiempo da su pátina natural sobre tales veladuras pardas, de tal modo que, al cabo de pocos años, se lograría únicamente un efecto liso de color pardo oscuro».

Conviene recordar que la pintura policrómata de las obras de Arquitectura y estatuaria, ha sido una costumbre que nos viene desde la antigüedad, desempeñando un papel muy importante en toda la Edad Media, en el Gótico y en el Renacimiento que adoptó el color en la Arquitectura en toda su amplitud. Al gran florecimiento del color, alcanzado a principios del siglo XIX gracias a los trabajos de arquitectos tan notables como Viollet le Duc y otros, cabe sumar la aportación de los estudios realizados por el Arquitecto Hittorff demostrando (1932) que la «arquitectura griega había sido siempre policrómata conceptos que quedaron totalmente aceptados tras la exposición de 1851, superándose así un largo proceso de contradicciones que duró treinta años. Es importante destacar las discusiones que surgieron desde 1880 en los círculos de Arte entorno a la policromia en su aplicación a las obras plásticas y, en particular, la publicación en 1884 del trabajo de Jorge Treu "Sollen mir unsre statuen bemalen?» QHemos de pintar nuestras estatuas?), quien como Arqueólogo y profesor de la Academia de Arte de Dresde y correspondiente del Instituto de Francia, entre otros, ejerció una indiscutible influencia.

8.-Para Félix Cabrero, el auténtico dilema crítico de toda experiencia en la recuperación de edificios Históricos se encuentra en actuaciones que «propenden a resucitar las imágenes fidelignas, contemplándose como un delito estético no recubrir los viejos muros de piedra o ladrillo con pinturas, revocos, chapados, como si la realidad de haber sido acabados camuflando la construcción básica del edificio, condenara sin remisión la invocación inexorable de las primitivas imágenes» (en «El cambio de uso en recuperación de edificios históricos», en Recuperación

Desde la Restauración, el Profesor Fielden[9] explica con claridad que...«en todas las operaciones de limpieza, la superficie original de la piedra debe ser respetada junto con su patina de edad».., y la Carta de Restauro de 1972[10], establece ...« la patina de la piedra debe ser conservada por evidentes razones históricas, estéticas y aún técnicas, por cuanto desempeña normalmente una función protectora, como demuestra el que la corrosión suele comenzar en las lagunas de la patina. Se puede eliminar la materia acumulada sobre la piedra (detritus, polvo,hollín, excremento de palomas, etc...) usando solamente cepillos vegetales o chorro de aire a presión moderada.Deberán evitarse los cepillos metálicos, rasquetas y, en general, debe excluirse todo chorro a elevada presión ya sea arena natural o vapor,desaconsejándose el lavado de cualquier tipo».

La limpieza de fachadas con procedimientos industriales tiene como objetivo principal cumplir con las especificaciones técnicas de los sistemas y productos diseñados para obra nueva, para lo que es condición primera una limpieza a fondo que permita aplicar los productos sobre un sustrato sano, por lo que resulta extraordinariamente difícil conciliar este punto de vista con el que se propone la protección de los restos de estucos de Yeso, policromías y patinas que la Restauración exige.

En los Monumentos se cree firmemente que deben excluirse lo que llamamos sistemas industriales, debiendo ejecutarse los trabajos con procedimientos ,lo más manuales y lo menos automáticos que sea posible.La limpieza tiene como fin hacer legible la superficie para restituirle su significado y es siempre una operación delicada porque es irreversible. Si bien el principio es sencillo, resulta a menudo difícil de realizar ya que el estado que se procura alcanzar con la intervención, depende en gran medida de los mensajes de que es portador, que son de muy diversa índole y, a veces, poco perceptibles a simple vista, por lo que un tratamiento imprudente puede destruirlos. Por esto, más allá de que unos métodos de trabajo puedan parecernos más recomendables que otros, lo que de verdad importa saber es el estado de superficie que tenemos y aquel que queremos alcanzar, pues ese proyecto es el que tenemos que realizar utilizando los medios adecuados para conseguirlo. Hemos pues de convenir en que la limpieza solo puede encomendarse a quienes comprendan la naturaleza de los mensajes contenidos en esas superficies y sepan restaurarlos, pues no existen métodos ni productos que resuelvan por si solos la falta de conocimiento y criterio de un operador poco o mal instruido en las bases metodológicas de la Restauración moderna.

Actualmente, con la introducción de Laboratorios inexpertos en la tecnología antigua de la construcción, las pátinas de Yeso se suelen leer, desvirtuándolas, como...«procesos naturales de cromatización»..., o... «sulfataciones por la contaminación atmosférica»... o aún también como...«efecto de bacterias»..., desconociendo que en la mayor parte de los Monumentos de España, esas pátinas son, en el sentido fuerte de la palabra, historia de vida, acciones de los hombres sobre la imbecilidad mineral del sustrato pétreo, y no excrecencias botánicas ni precipitados atmosféricos.

Nuestro criterio es que ese cuero a base de Yesos, se debe conservar como un testimonio de las soluciones arquitectónicas de diferentes épocas, al menos en España. A la erosión provocada por el medio ambiente contaminado no podemos sumar los errores derivados de una interpretación incorrecta de las pátinas de Yeso, ni de una dejación ante las presiones de los sistemas derivados de la organización para "obra nueva", aunque aún produzca resultados acordes con el gusto de nuestra época, en vías de cambio (tristes resultados de muros descarnados, fachadas empobrecidas por la desaparición de los realces cromáticos, color gris cemento...).

4. Conclusiones

Los trabajos de Restauración realizados en numerosos Monumentos españoles han puesto de manifiesto la existencia de recubrimientos a base de Yeso, originales en unos casos y añadidos en épocas posteriores, en algunos otros. En ningún caso se han podido confirmar las teorías propuestas por los laboratorios científicos queriendo atribuirlos a "costras de sulfatación por acción de los contaminantes atmosféricos sobre los materiales de construcción".

El ensuciamiento de las fachadas y la importancia creciente de las actuaciones de limpieza sobre los Monumentos, exigen Restauradores con sensibilidad en alerta integral y formación suficiente para saber interpretar los mensajes auténticos de los testimonios del pasado, cuya conservación y protección es la razón de ser de su trabajo al servicio de la Historia de la Cultura.

La metodología de trabajo y los procedimientos técnicos utilizados por el Restaurador, se encuentran sometidos a fuertes presiones procedentes de los conceptos y sistemas de trabajo utilizados en 'obra nueva" lo que plantea graves problemas en muchas obras, con consecuencias negativas para el objeto.

---

de Edificios Históricos para usos Turísticos, TECNIBERIA, Madrid, 1986 pp.36.).

Desde nuestro punto de vista, entendemos que la estética del neoclasicismo puso de moda el gusto por lo monócromo y fue evolucionando hacia los materiales desnudos, proyectándose en Restauración con una etapa inicial que cubrió todo con veladuras blancas (p. ej. Catedral de Tui), sienas o grises, seguida de otra fase más dura que hizo raspar encarnizadamente las paredes (y muchas esculturas) con cepillos metálicos, chorro de arena, lavado a presión con productos químicos, etc.... recubriéndolas seguidamente con plásticos o silicatos transparentes.

[9].-FEILDEN,B.«Conservation of Historic Building», Edt Butterworths, London 1982, pp. 333.

[10].-Carta del Restauro, 1972. Redactada en Roma por iniciativa d Instituto Centrale del Restauro. Una traducción en español ha sido publicada en «50 años de Protección del Patrimonio Histórico-Artístico 1933-1983". Ministerio de Cultura. Madrid 1984.

CUADERNO

81.01

CATÁLOGO Y PEDIDOS EN

http://www.aq.upm.es/of/jherrera

jherrera@aq.upm.es

